

무선 센서 네트워크에서 유전 알고리즘 기반의 에너지 효율적인 클러스터링

김진수^{1*}

¹동명대학교 항만물류학부

An Energy Efficient Clustering based on Genetic Algorithm in Wireless Sensor Networks

Jin-Su Kim^{1*}

¹Division of Port & Logistics, TongMyong University

요 약 본 논문에서는 센서 네트워크의 수명을 길게 하기 위해 클러스터 헤드에 집중된 에너지 과부하를 클러스터 그룹 헤드와 클러스터 헤드로 분산시켜서 에너지 소모량을 감소시키는 유전 알고리즘 기반의 에너지 효율적인 클러스터링(ECGA: Energy efficient Clustering based on Genetic Algorithm)을 제안한다. ECGA 알고리즘은 예상 에너지 비용 합계, 센서 노드 에너지 잔량의 평균 및 표준 편차를 구하여 이를 적합도 함수에 적용하였다. 이 적합도를 이용하여 최적의 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성한다. 실험을 통하여 ECGA 알고리즘이 이전의 클러스터링 기법보다 에너지 소모를 줄이고 네트워크의 수명을 연장시켰음을 보였다.

Abstract In this paper, I propose an Energy efficient Clustering based on Genetic Algorithm(ECGA) which reduces energy consumption by distributing energy overload to cluster group head and cluster head in order to lengthen the lifetime of sensor network. ECGA algorithm calculates the values like estimated energy cost summary, average and standard deviation of residual quantity of sensor node and applies them to fitness function. By using the fitness function, we can obtain the optimum condition of cluster group and cluster. I demonstrated that ECGA algorithm reduces the energy consumption and lengthens the lifetime of network compared with the previous clustering method by stimulation.

Key Words : Sensor Networks, Clustering Method, Lifetime of Network, Genetic Algorithm, Fitness Function

1. 서론

무선 센서 네트워크에서 센서 노드들은 배치된 후 관리자가 노드의 유지 관리를 하지 않는 형태이므로 한 번 배치된 후 긴 수명을 갖고 데이터를 수집하기 위해서는 센서 노드 자체의 전력을 효율적으로 관리하여야 한다 [1]. 센서 네트워크는 기존의 인프라 구조의 네트워크와는 구별되는 특징을 가진다. 무선 센서 네트워크는 기본적으로 배터리에 의존한 동작을 하고 제한된 메모리를 가지기 때문에, 에너지 사용의 최소화 및 네트워크 수명을 연장하는 것이 무엇보다도 우선시 된다. 에너지 소모는 주로 라디오 통신에 의해서 발생한다. 에너지 소모를

최소화하는 방법은 MAC(Medium Access Control)과 네트워크 계층상에서 데이터 송수신이 요구되지 않는 노드는 자신의 라디오를 끄는 방법이 있다[2,3]. 또한 데이터 통합을 통하여 전송 데이터의 양을 줄임으로써 통신 비용을 줄이는 방법이 있다. 이에 대한 가장 대표적인 방법으로 클러스터링을 들 수 있다[4].

LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)와 LEACH-C(LEACH-Centralized) [5]는 단일홉 모드를 사용하는 가장 대표적인 클러스터링 방법이다. LEACH는 다른 센서에 비해 에너지 소비가 많은 클러스터 헤드(Cluster Head: CH) 역할을 모든 센서가 똑같은 횟수로 수행하도록 하는 것이 기본 원리인데, 매 라운드마다 CH

*교신저자 : 김진수(kjs8543@tu.ac.kr)

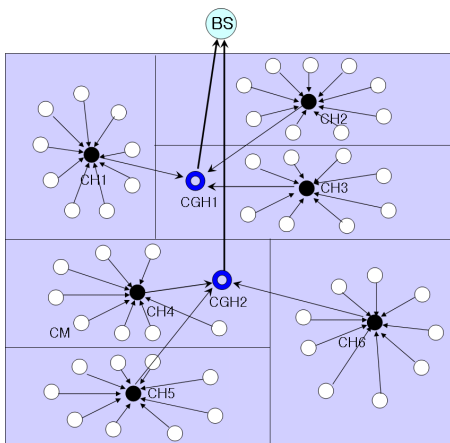
접수일 2010년 04월 03일

수정일 (1차 10년 05월 07일, 2차 10년 05월 12일)

게재확정일 10년 05월 13일

가 무작위로 선출되기 때문에 CH들이 센서 노드의 가장 자리에 모여서 에너지 효율이 떨어질 가능성이 있다. LEACH-C는 LEACH와 동일한 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜이지만 기지국(Base Station: BS)의 통제 하에 CH가 결정된다는 차이점이 있다. 즉, 기지국에서 CH를 선정함으로써 CH의 개수를 보장받을 수 있는 장점이 있다. 그러나 클러스터에서 병합된 데이터를 기지국으로 전송시키는 과정에서 CH에만 과중한 부담을 지우기 때문에 CH로 선정되는 센서 노드는 많은 에너지를 소모하게 되고 그에 따라 전체 네트워크의 수명을 단축시키는 결과를 초래한다. 그래서 이러한 CH의 선정도 중요하지만 CH에 집중된 에너지 과부하를 완화시키는 방법이 요구된다.

본 논문에서는 클러스터링에 기반을 두어 CH에 집중된 에너지 소비를 클러스터 그룹 헤드(Cluster Group Head: CGH)와 CH로 분산시켜서 네트워크의 수명을 늘이는 유전 알고리즘 기반의 에너지 효율적인 클러스터링(ECGA : Energy efficient Clustering based on Genetic Algorithm)을 제안한다. ECGA는 그림 1과 같이 LEACH-C와 다르게 CH가 아닌 클러스터 그룹의 CGH가 기지국으로 데이터를 전송한다. CH는 CGH의 보조 역할을 한다. 보통 CH는 클러스터의 중심부에 위치하지만 CGH는 지역 클러스터의 외곽에 위치할 가능성이 많으므로 CH를 같이 이용한다면 노드에 대한 부하 불균형을 줄일 수 있는 효과가 있다.



[그림 1] ECGA에서 기지국과의 통신

2. 관련 연구

2.1 클러스터링 기법

LEACH, LEACH-C[5-6]와 HEED(Hybrid Energy-Efficient Distributed clustering)[8]는 단일홉 모드를 사용하는 가장 대표적인 클러스터 기반 라우팅 프로토콜이다.

LEACH의 작동은 라운드로 나누어지고, 각 라운드는 클러스터를 형성하는 설정 단계(set-up phase)와 데이터 센싱 정보를 기지국으로 전송하는 전송 단계(steady-state phase)로 구성되어 있다. LEACH에서 노드는 지역 클러스터로 구성되고, 그 중 한 노드가 CH로 행동한다. 그래서 CH 노드는 CM(Cluster Member) 노드보다 더 많은 에너지를 소모하게 된다. LEACH는 분산된 클러스터 형성 알고리즘의 이점이 있으나 노드의 배치 및 매 라운드마다 동일한 CH 수를 보장할 수 없다는 단점을 갖고 있다. 또한 CH를 선정할 때 확률 값에만 의존하기 때문에 적절한 클러스터 헤드가 선정되지 못할 수 있는 문제가 있다.

LEACH-C는 기지국에서 클러스터링을 진행하는 중앙 집중형 클러스터링 알고리즘으로써 지리적으로 고르게 클러스터를 형성하기 위하여 센서 노드의 절대적 위치 정보를 이용한다. 각 센서의 GPS(Global Positioning System)을 통해 전달되어지는 절대적 위치정보와 센서의 에너지 보유량 정보를 수집한 기지국은 최적의 CH 선정을 위해 평균 에너지보다 높은 에너지를 가진 센서 노드들 중에서 근사 알고리즘(Simulated Annealing Algorithm) [5]을 사용하여 센서 네트워크에 참여하는 각 센서 노드들의 평균 거리가 가장 짧은 센서 노드를 찾는다. 그리고 기지국은 현재 라운드에서 CH로 선정된 센서 노드의 ID를 포함한 메시지를 모든 센서 노드들에게 전송한다. 이렇게 CH와 클러스터 내의 센서 간의 거리의 합이 최소화되게 클러스터를 구축하는 것이 LEACH-C의 기본원리이다. 클러스터링 기법에서 센서 노드의 데이터 전송 에너지 소비는 거리에 비례하기 때문에 일반적으로 멀리 떨어진 기지국까지 데이터를 직접 전달하는 CH는 CM에 비해 에너지 소모가 매우 크다[5-6]. LEACH-C는 CH에서만 기지국에 데이터를 전송하는 구조이므로 CH에 너무 과중한 부담을 줄 수 있는 단점이 있다.

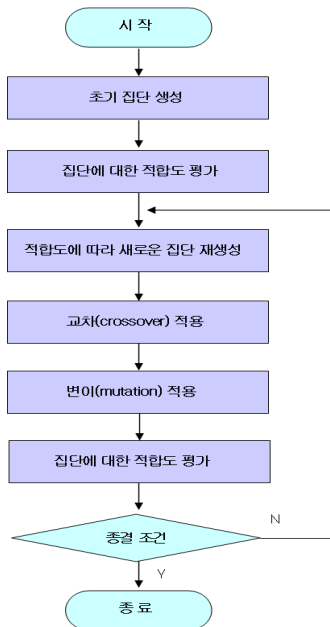
HEED는 에너지와 통신 비용의 복합적인 면을 고려한 독립형(stand-alone)의 분산된 클러스터링 접근 방법이다. 주된 목표는 분산된 에너지 소비에 의한 네트워크의 수명을 연장시키는 것이다. HEED에서는 CH의 선정에 개별 노드에서 분산 처리를 통해 결정하는 알고리즘을 제안하였다. HEED는 LEACH를 개선하여 나온 방법으로써 CH를 선정함에 있어서, 노드의 잔여 에너지 값을 일차적 기준으로 삼고, 두 번째 기준으로 클러스터 내부의 통신 비용을 고려하여 최종 CH를 선정한다. 그래서 잔여 에너지가 많은 노드들 중에서도 통신 비용이 가장 적게 드는 노드를 CH로 선정한다. 그러나 HEED 역시 LEACH-C와

같이 CH에 너무 과중한 부담을 주는 근본적인 문제는 해결하지 못하고 있다.

2.2 유전 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)

유전 알고리즘은 유전학과 자연 진화를 흉내 낸 적응 탐색법으로서 1975년 Holland[9]에 의해 개발된 것이다. 복잡한 최적화 문제를 해결하기 위해서 유전 알고리즘은 집단을 사용하고 여기에 모의진화를 일으켜 이를 점진적으로 개선해 나가게 된다. 기계 학습, 로봇 공학, 순회 판매원 문제를 비롯한 최적화 문제 등 다양한 분야에서 사용되고 있다[7].

그림 2는 유전 알고리즘의 기본 구조를 보여주고 있다 [7]. 먼저 초기 집단이 형성되고 염색체들의 강점과 약점이 적합도 항목으로 평가된다. 이 때 각 염색체는 복호화되어 목적함수(이득함수)를 제공하고 이로부터 적합도가 계산된다. 재생산은 적합도 값에 따라 더 적합한 개체들을 선택하여 다음 세대의 집단을 형성하고, 교차(crossover)는 개체사이의 정보교환이 가능하게 하며, 변이(mutation)는 유전자를 임의로 변경하여 집단의 변화를 도입한다. 이와 같이 한 세대동안 재생산, 교차, 변이를 거치면서 새롭게 형성된 집단은 다시 평가되고 앞서 수행한 일련의 연산과정은 최적의 해가 발견될 때까지 반복된다.



[그림 2] 유전 알고리즘의 구조

유전 알고리즘을 구현하기 위해서는 우선 문제에 맞는

염색체 표현 방법과 교차, 변이와 같은 유전 연산자의 정의가 필요하며 문제에 맞는 적합도 함수를 설계하는 것이 중요하다.

3. 유전 알고리즘 기반의 에너지 효율적인 클러스터링

본 논문에서 제안된 유전 알고리즘 기반의 에너지 효율적인 클러스터링(ECGA)에서는 매 라운드마다 클러스터를 구성할 때 발생하는 에너지 소모를 줄이기 위하여 유전 알고리즘의 적합도를 이용하여 최적의 CGH 및 CH를 선정한다. 또한 클러스터 재구성 시기를 결정하고, 클러스터를 재구성하지 않을 때에는 기 구성된 클러스터 내에서 CH가 되는 순서대로 CH를 교체한다.

제안된 방법은 CM에서 CH로 데이터를 전송하고, CH에서는 집계된 데이터를 CGH로 데이터를 전송한다. 또한 CGH에서는 역시 집계된 데이터를 기지국으로 전송한다. 이때 CGH와 CH는 상호 협력하는 관계를 가지면서 CH에 집중된 에너지 소모를 분산시킨다. 이러한 방식이기 때문에 클러스터 그룹의 크기 및 그에 포함된 클러스터 수는 매우 중요한 문제라고 할 수 있다. 클러스터 그룹 수가 적다면 클러스터 내부의 에너지 소비량이 증가하고, 클러스터 그룹 수가 많다면 CGH에 대한 에너지 소비량이 증가할 것이다.

제안된 ECGA 클러스터링의 목적은 에너지를 모두 소모한 센서 노드가 처음 발생하는데 걸리는 시간을 최대화하고 지리적으로 CH의 위치가 클러스터의 중심부에서 가까운 곳을 택하여 클러스터 멤버(Cluster Member: CM) 즉, 클러스터에서 CH가 아닌 노드(Non-Cluster Node)가 CH에 데이터를 송신할 때 에너지 소비를 줄이는데 있다. 또한 데이터 전송에 소비되는 에너지를 최소화하기 위해 CGH의 위치가 기지국으로부터 멀수록 CGH로 선출되는 빈도를 낮춘다. 즉, CGH의 위치는 각 CH의 위치, 기지국의 위치 및 에너지 잔량에 연계하여 그 위치를 정함으로써 특정 센서의 에너지가 급격하게 소모되지 않도록 한다. ECGA는 위와 같은 여러 가지의 복잡한 문제를 유전 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)을 이용하여 해결한다. 그러나 GA를 기지국에서 처리하기 때문에 센서 노드의 에너지 소모에는 별다른 영향을 받지 않는다.

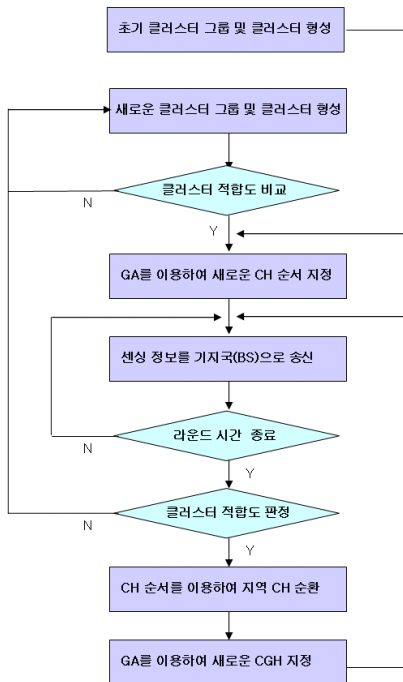
유전 알고리즘은 문제의 해를 표현하는 염색체를 정의하고, 염색체 표현 방법을 이용하여 랜덤하게 염색체들의 초기 모집단을 생성한다. 그리고 유전 연산과 적합도(Fitness) 함수를 이용하여 적합도가 우수한 염색체들을 선택하여 점진적으로 개선된 집단을 형성한다. 본 연구에

서는 센서 노드의 특성을 고려하여 센서 노드 번호와 클러스터 번호, 예상 에너지 비용 합계, 에너지 잔량, CH 여부, CH 순위 등을 이용하여 유전자를 표현하였으며, CH에 집중된 에너지 소모를 CGH와 CH로 분산시키기 위해 각 센서 노드의 예상 에너지 비용 합계와 CH에 대한 에너지 잔량의 표준편차를 이용한 적합도 함수를 설계하여 이를 평가한다.

제안된 방법의 센서 네트워크 모델은 다음과 같다.

- 센서 네트워크는 하나의 기지국과 다수의 센서 노드로 이루어져 있고, 노드의 배터리는 충전이 불가능하다.
- 모든 센서 노드와 기지국은 고정되어 있고, 모든 센서 노드는 기지국 또는 다른 센서 노드와 단일홉으로 통신할 수 있는 거리에 놓여있다.
- 센서 네트워크에는 여러 개의 클러스터 그룹이 존재한다. 각 클러스터 그룹에는 여러 개의 클러스터가 있고, 각 클러스터 그룹에는 CGH가 존재하고 각 클러스터에는 CH가 존재한다. 이 CGH에서 기지국으로 데이터를 전송한다.
- CGH 및 CH는 자신의 클러스터에 속한 노드들의 ID와 위치를 알고 있다.

3.1 유전 알고리즘을 이용한 클러스터링 방법



[그림 3] GA를 이용한 클러스터링 순서도

유전 알고리즘을 이용한 클러스터링 방법은 그림 3의 순서도와 같고 그 세부 내역은 다음의 1) ~ 9)와 같다.

1) 초기 클러스터 그룹 및 클러스터 형성

초기 클러스터를 형성하는 방법은 LEACH-C와 같이 기지국에서 먼저 m 개의 클러스터 그룹 헤드(Cluster Group Head: CGH)를 지정한 다음 CGH에서 가까운 노드를 같은 클러스터 그룹의 멤버(Cluster Group Member: CGM)로 지정한다. 위와 같은 방법으로 해당 클러스터 그룹 내에서 n 개의 클러스터 헤드(Cluster Head: CH)를 지정하고 그에 따른 클러스터 멤버(Cluster Member: CM)를 지정한다. 이러한 방법은 에너지를 최소화할 수 있는 최적의 CH 선정을 기지국이 통제함으로써 효율적인 클러스터를 구성할 수 있도록 한다. 기지국은 각 라운드의 시작 단계인 셋업 단계에서 각 센서 노드에 대한 위치 정보와 에너지 잔량에 대한 정보를 전송받는다.

2) 새로운 클러스터 그룹 및 클러스터 형성

초기 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성하는 방법과 동일하다.

3) 클러스터 적합도 비교

이전 CGH와 새로운 CGH의 적합도2를 비교하여 새로운 CGH의 적합도2가 이전 CGH보다 낮으면 다시 새로운 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성한다. 이러한 절차를 여러 번 거쳐서 적합도2가 제일 높은 것으로 새로운 클러스터를 형성하고 또한 새로운 클러스터를 기준해서 새로운 염색체를 생성한다. 적합도2는 수식 (3)을 참고한다.

4) 유전 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)을 이용하여 새로운 CH 순위 지정

클러스터 그룹 및 클러스터를 형성하고 나서 비용함수와 에너지 잔량 가중치로 구성된 적합도1을 이용하여 해당 클러스터 내에 있는 센서 노드들에 대해 CH가 되는 순서를 지정하고, 다음 라운드 이후에는 기 지정된 CH 순서를 이용하여 새로운 CH를 지정한다. 적합도1은 수식 (1)을 참고한다.

5) 센싱 정보를 기지국으로 송신한다.

6) 새로운 라운드일 경우 적합도3을 다시 판정하고, 아니면 계속해서 센싱 정보를 기지국으로 송신한다. 적합도3은 수식 (5)를 참고한다.

7) 클러스터 적합도 판정

적합도3을 이용하여 그 값이 임계값 이하이면 현재 클러스터 상태에서 CH 순서를 이용하여 지역 CH를 순환하여 지정하고, 아니면 새로운 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성한다.

8) CH 순서를 이용하여 지역 CH 순환

기존의 클러스터 기반 알고리즘에서는 각 노드의 에너지 사용을 분산하기 위해서 각 라운드마다 클러스터를 재구성하므로 이 때 많은 에너지가 소모된다. 그러므로 제안된 알고리즘에서는 클러스터를 구성한 후 일정 기간 동안에는 클러스터를 재구성하지 않고 이미 구성된 CH 순서를 이용하여 새로운 CH를 지정한다. 즉, 현재 사용 중인 CH와 다음 순서인 CH의 적합도1을 분석하여 그 중 적합도가 높은 노드를 CH로 지정한다. 이 적합도1을 이용하여 에너지 사용이 일정 센서 노드에 편중되는 것을 막고 클러스터를 재구성하기에 적합한 시기를 찾는다. 적합도1은 수식 (1)을 참고한다.

9) 유전 알고리즘을 이용하여 새로운 CGH 지정

적합도2를 이용하여 새로운 CGH를 지정한다. CGH는 기지국에 데이터를 송신해야 하므로 많은 에너지를 소모한다. 따라서 CH를 선정할 때에는 달리 센서 노드의 위치, 에너지 잔량 등의 유전자와 적합도2를 이용하여 매번 새로운 CGH를 선택한다. 적합도2는 수식 (3)을 참고한다.

3.2 염색체 표현 방법

유전 알고리즘을 구현하기 위해서는 주어진 문제를 해결하기 위해 개체로 염색체를 표현하는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 에너지 효율적인 클러스터를 구성하기 위해 다음과 같은 실수 표현 방법으로 염색체를 표현하였다.

- FIT1, 2, 3 : 적합도(FITness)1, 2, 3
- NID : 노드 번호(Node ID)
- CGcno : 클러스터 그룹 내 클러스터 번호
- Etot1 : 예상 에너지 비용 합계1
- Etot2 : 예상 에너지 비용 합계2
- E_{res} : (현재) 에너지 잔량
- CHyn : 클러스터 헤드 여부
- CHseq : 클러스터 헤드가 되는 순위

적합도1 함수를 이용하여 각 클러스터에서 센서 노드의 CH가 될 순서를 정함과 동시에 새로운 CH를 지정한다. 적합도2 함수를 이용하여 새로운 CGH를 지정한다. 적합도3 함수를 이용하여 그 값이 임계값 이하이면 현재 클러스터 상태에서 CH 순서를 이용하여 지역 CH를 순서에 따라 지정하고, 아니면 새로운 클러스터 그룹 및 클러

스터를 형성한다. Etot1은 현재 센서 노드를 CH로 가정했을 때 클러스터 내 다른 CM 노드와의 송수신 등의 예상 에너지 비용 합계이다. Etot2는 현재 센서 노드를 CGH로 가정했을 때 클러스터 그룹 내 클러스터 헤드와의 송수신 등의 예상 에너지 비용 합계이다. 이 비용 합계는 각 클러스터 멤버가 클러스터 헤드에 1건씩의 데이터를 전송할 때를 기준으로 구한 값이다. 에너지 잔량이 변경되는 내역을 계속 관리하고 또한 CH가 바뀌면 CHyn 및 Etot2가 새로운 값으로 바뀌게 된다.

3.3 적합도 함수 및 유전 연산

본 연구에서 제안하는 ECGA 알고리즘은 클러스터 그룹 및 클러스터 형성을 최적화시켜 네트워크에서 소모되는 에너지 소모량을 최소화하는데 있다. 따라서 유전 알고리즘의 적합도 함수는 이러한 목적을 달성할 수 있도록 구현되어야 하며 다음의 적합도 함수1(수식 1), 적합도 함수2(수식 3) 및 적합도 함수3(수식 5)과 같이 설계되었다.

$$FIT1_i = ((EC_w - EC_i) + (EC_w - EC_b) * \frac{E_{res}_i}{E_{res}_{avg1}} * k) * \frac{N}{N_c} \quad (1)$$

EC_i는 현재 센서 노드 i를 CH로 가정했을 때 각 클러스터 CM에서 CH로 한 건씩의 데이터 송수신 및 데이터를 병합(Data Aggregation)하고 그 데이터를 CGH로 송신할 때 소모되는 예상 에너지 비용 합계이다. 염색체에서 Etot1에 해당한다. 소모되는 에너지는 [5]의 에너지 모델을 이용하여 구한다. 이때 k는 가중치(weight)로서 보통 2 ~ 3으로 지정하고, 센서 노드의 기본 에너지량, 센서 네트워크의 기본 토폴로지 및 기지국의 위치에 따라서 조정할 수 있다. 또한 N/N_c는 클러스터 내 CM수의 변동을 보정하기 위해 사용된다. EC_i는 각 클러스터 CM에서 CH로 데이터를 송신하는 에너지의 합계(E_{TCM})와 CH에서의 수신 에너지, 각 CM에서 송신된 데이터를 CH에서 병합하는 에너지 및 CH에서 CGH로 데이터를 송신하는 에너지의 합계(E_{CH}) 그리고 각 클러스터 CM에서의 데이터 센싱 에너지의 합계(E_{Tsensing})를 더한 값이다.

$$EC_i = E_{TCM} + E_{CH} + E_{Tsensing} \approx \sum_{j=1}^{N_c} (l * (E_{elec} + E_{Cfs} * d_{jtoCH}^2)) + (l * N_c * (E_{elec} + E_{DA}) + l * E_{Gfs} * d_{toCGH}^2) \quad (2)$$

이 식에서 $E_{T\text{sensing}}$ 은 소모되는 에너지가 적으므로 생략한다. 위 식 (1) 및 (2)에 사용되는 변수 및 상수 내역은 다음과 같다.

- ECw(ECb) : EC_i를 구하는 수식을 기준해서 클러스터 내에서 가장 예상 비용이 많은(적은) 센서 노드의 예상 에너지 비용 합계
- E_{resi} : 현재 센서 노드의 에너지 잔량
- E_{resavg1} : 클러스터 내 센서 노드의 에너지 잔량 평균
- k : 가중치
- N : 센서 네트워크의 센서 노드의 개수
- N_c : 클러스터 내 센서 노드의 개수
- l : 각 데이터 메시지의 비트 수
- d_{jtoCH} : 센서 노드 j로부터 CH까지의 거리
- d_{toCGH} : CH로부터 CGH까지의 거리
- E_{elec} : 무선 전자 에너지. 50 nJ/bit
- E_{cfs} : CM에서 CH로 근거리 송신할 때의 무선 증폭 에너지. 10pJ/bit/m²
- E_{DA} : 데이터 병합을 위한 에너지.
5 nJ/bit/signal

수식 (1)의 적합도 함수1을 이용하여 각 센서 노드의 CH가 될 순서를 정함과 동시에 새로운 CH를 지정한다. 현재 사용 중인 CH와 다음 순서인 CH의 적합도1을 분석하여 그 중 적합도가 좋은 노드를 새로운 CH로 지정한다.

$$\text{FIT}_i = (\text{ECGw} - \text{ECG}_i) + (\text{ECGw} - \text{ECGb}) * \frac{E_{\text{resi}}}{E_{\text{resavg2}}} * k \quad (3)$$

ECG_i는 현재 센서 노드 i를 CGH로 가정했을 때 클러스터 CH에서 CGH로 한 건씩의 데이터 송수신 및 데이터를 병합하고 그 데이터를 기지국으로 송신할 때의 소모되는 예상 에너지 비용 합계이다. 염색체에서 Etot2에 해당한다. ECG_i는 각 클러스터 CH에서 CGH로 데이터를 송신하는 에너지의 합계(E_{TCH})와 CGH에서의 수신 에너지, 각 CH에서 송신된 데이터를 CGH에서 병합하는 에너지 및 CGH에서 기지국으로 데이터를 송신하는 에너지의 합계(E_{CGH}) 그리고 각 CH에서의 데이터 센싱 에너지(E_{Tensing})를 더한 값이다.

$$\text{ECG}_i = E_{\text{TCH}} + E_{\text{CGH}} + E_{\text{Tensing}} \approx \sum_{j=1}^{N_{\text{ch}}} (l * (E_{\text{elec}} + E_{\text{cfs}} * d_{\text{jtoCGH}}^2)) + (l * N_{\text{ch}} * (E_{\text{elec}} + E_{\text{DA}}) + l * E_{\text{Camp}} * d_{\text{toBS}}^4) \quad (4)$$

이 식에서 $E_{T\text{sensing}}$ 은 소모되는 에너지가 적으므로 생략한다. 위 식 (3) 및 (4)에 사용되는 변수 및 상수 내역은 다음과 같다.

- ECGw(ECGb) : ECG_i를 구하는 수식을 기준해서 클러스터 그룹 내에서 가장 예상 비용이 많은(적은) 센서 노드의 예상 에너지 비용 합계
- E_{resavg2} : 클러스터 그룹 내 센서 노드의 에너지 잔량 평균
- N_{ch} : 클러스터 그룹 내 CH의 수
- d_{jtoCGH} : CHj로부터 CGH까지의 거리
- d_{toBS} : CGH로부터 기지국(BS)까지의 거리
- E_{Camp} : CGH서 기지국으로 장거리 송신할 때의 무선 증폭 에너지. 0.0013pJ/bit/m⁴

수식 (3)의 적합도2 함수를 이용하여 클러스터 그룹 내에서 새로운 CGH를 지정한다.

$$\text{FIT3}_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{chn}}} (E_{\text{resi}} - E_{\text{resavg3}})^2}{N_{\text{chn}}}} * \frac{1}{E_{\text{resavg3}}} \quad (5)$$

- N_{chn} : 클러스터 내에서 CH로 지정된 적이 있는 센서 노드의 수
- E_{resi} : 현재 CH의 에너지 잔량
- E_{resavg3} : 클러스터 그룹 내 CH로 지정된 적이 있는 센서 노드의 에너지 잔량 평균

수식 (5)의 적합도3은 지금까지 지정된 CH에 대한 에너지 잔량의 표준편차에 에너지 잔량 평균을 나눈 값이다. 클러스터 그룹별로 적합도3을 구해서 모든 값이 임계값(보통 0.1 ~ 0.2로 지정) 이하이면 현재 클러스터 상태에서 CH 순서를 이용하여 새로운 CH를 지정하고, 그 중 한 그룹이라도 적합도3이 임계값 이상이면 새로운 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성한다.

유전 알고리즘에서 교차, 변이 연산의 유전 연산을 반복적으로 수행하고 해집합의 염색체들과 적합도를 비교하여 적합도가 높은 염색체를 보존함으로써 해집합 내의 염색체들은 점진적으로 적합도가 높아지게 되어 최적화 과정을 수행한다.

변이 연산자는 염색체를 확률적으로 변이시키는 연산이다. 제안한 ECGA에서는 염색체의 센서 노드 에너지 잔량을 재할당하여 그 값과 예상 에너지 비용을 이용하

여 적합도를 계산한다. 또한 각 센서 노드의 CH가 될 순서를 지정하고 현재 사용 중인 CH와 다음 순서인 CH의 적합도를 분석하여 그 중 적합도가 높은 노드를 새로운 CH로 지정한다. 이 적합도를 이용하여 일정 센서 노드에 에너지 사용이 편중되는 것을 막고 클러스터를 재구성하기에 적합한 시기를 찾는다. 또한 지정된 CH에 따라 새로운 적합도를 생성하여 CGH를 지정한다.

ECGA에서는 해집합에서 부모 염색체의 CGH와 새롭게 생성된 염색체의 CGH에 대한 적합도를 비교하여 새로운 CGH의 적합도가 이전 CGH보다 낮으면 다시 새로운 염색체를 생성한다. 이러한 절차를 여러 번 거쳐서 그 중에서 CGH의 적합도가 제일 높은 것을 새로운 염색체로 한다.

4. 실험 및 분석

4.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이터를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험 도구로는 NS-2 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 성능을 평가하였다. 성능평가 기준으로는 시간별 센서 노드의 에너지 소모량과 데이터 전송량, 생존 노드수, 그리고 에너지 소모량에 따른 데이터 전송량을 LEACH, LEACH-C 및 ECGA 기법과 비교 분석하였다. 실험에 대한 매개변수 및 값은 표 1과 같다. 참고로 E_{cis} 는 수식 (2), E_{camp} 는 수식 (4) 등에서 사용된다.

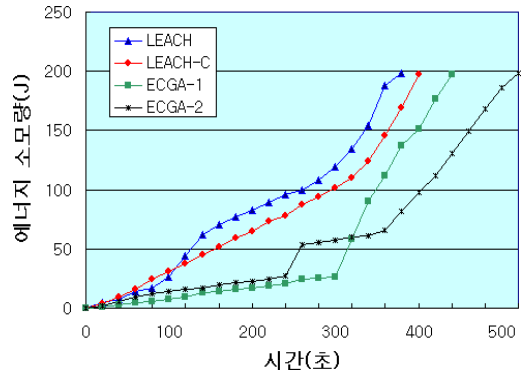
4.2 실험 결과 및 분석

[표 1] 실험 환경

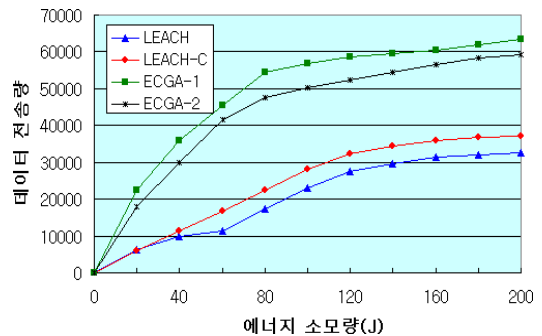
파라미터	값
네트워크 크기	100m x 100m
센서 노드의 수	100 (BS 노드는 별도)
처리 지연 시간	50 μ s
초기 에너지	2 J
기지국(BS) 위치	(50, 175)
데이터 크기	500 bytes
비트 전송률 (Rb)	100 kbps
클러스터 그룹 수	ECGA-1 : 2 ECGA-2 : 3
클러스터 그룹 내의 클러스터 수	ECGA-1 : 3 ECGA-2 : 2
무선 송신 전력(E_{cis}) (자유 공간 모델 적용)	10 pJ/bit/m ² x Rb x d ²
무선 송신 전력(E_{camp}) (다중 경로 모델 적용)	0.0013 pJ/bit/m ⁴ x Rb x d ⁴

그림 4는 시간별 기지국을 제외한 센서 노드만의 에너지 소모량이다. ECGA-1은 두 개의 클러스터 그룹에 3개씩의 클러스터가 포함된 경우이고, ECGA-2는 3개의 클러스터 그룹에 두 개씩의 클러스터가 포함된 경우이다. 기지국의 사용 에너지를 제외한 이유는 기지국은 그 에너지를 계속 보충할 수 있으므로 에너지를 많이 소모하더라도 큰 문제가 되지 않고, 센서 노드는 그 환경이 배터리 교체가 불가능한 경우가 많아 에너지 보충이 힘들기 때문이다.

LEACH-C에 비해 ECGA-1 및 ECGA-2는 에너지 소모량이 훨씬 적은 것을 알 수 있다. 그 이유는 CH에서 기지국으로 바로 데이터를 전송하는 것보다 클러스터의 CH에서 클러스터 그룹의 CGH로 데이터를 전송한 후 그 데이터를 병합하여 기지국으로 전송하는 방법 즉, CH가 CGH의 보조 역할을 해준 것이 전체적인 시스템 효율을 증진시킨 것으로 보인다. 또한 유전 알고리즘을 이용하여 CM와 CH, CH와 CGH 또한 CGH와 기지국 간의 통신 거리를 최적화함으로써 에너지 효율을 증진시켰다고 볼 수 있다.

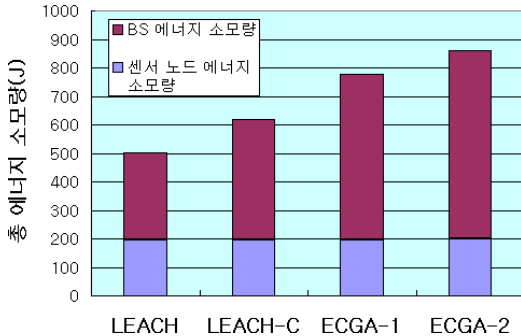


[그림 4] 시간별 센서 노드의 에너지 소모량



[그림 5] 에너지 소모량에 따른 데이터 전송량

그림 5에서 보면 LEACH-C가 LEACH보다 효율적이다. 그 이유는 기지국이 네트워크의 모든 노드에 대한 위치 및 에너지 잔량 등의 정보를 가지고 있기 때문이다. ECGA-1 및 ECGA-2가 LEACH-C보다 60% ~ 70%의 시스템 효율이 높은 것은 기지국에서 유전 알고리즘을 이용하여 데이터 송수신을 위해 더 적은 에너지를 요구하는 최적의 클러스터 그룹 및 클러스터와 그에 따른 CGH 및 CH를 형성하기 때문이다.

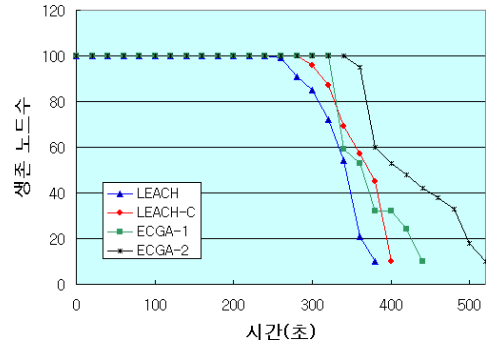


[그림 6] 센서 노드와 기지국(BS)의 총 에너지 소모량

그림 6에서 보면 LEACH-C에 비해 ECGA-1 및 ECGA-2는 기지국에서의 에너지 소모량이 많다. 그 이유는 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성하는 과정에서 필요한 유전 알고리즘 처리에 많은 에너지가 소모된 곳으로 보인다. 본 논문에서는 전체적인 시스템의 효율 증진보다 기지국을 제외한 센서 노드의 에너지 효율 증진을 그 목적으로 한다. 즉, 센서 네트워크의 특성상 기지국에서 더 많은 에너지를 사용하더라도 센서 노드를 효율적으로 관리하는 것이 중요하기 때문이다.

그림 7에서 보면 LEACH와 LEACH-C에 비해 ECGA-1은 10%, ECGA-2는 30% 정도 센서 노드의 수명이 연장되었다. 센서 노드의 수명이 종료되는 시점은 전체 센서 노드 중에서 90%의 센서 노드가 죽은 경우를 기준으로 하였다.

ECGA-1 및 ECGA-2는 유전 알고리즘을 이용하여 에너지 효율이 좋은 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성하고 또한 매 라운드마다 클러스터를 재지정하지 않고 CH가 되는 순번을 지정하여 일정 라운드 동안 고정된 클러스터에서 CH를 순환시키는 방법은 네트워크의 수명을 연장시키는데 많은 효과를 본 것으로 생각된다.



[그림 7] 시간에 따른 생존 노드수

5. 결론 및 향후 연구 계획

클러스터링 기반의 센서 네트워크에서는 CM에서 CH로 센싱 데이터를 전송하고, 그 데이터를 병합하여 기지국으로 전송하기 때문에 CH는 에너지 소모가 과중하게 된다. 본 논문에서는 이렇게 CH에 집중된 에너지 과부하를 분산시키기 위하여 ECGA 알고리즘을 제안하고 실험을 통해 성능을 확인하였다.

제한된 ECGA 알고리즘은 에너지 과부하를 분산시키는 최적의 클러스터 그룹 및 클러스터를 형성하기 위해 유전 알고리즘을 사용하였다. 유전 알고리즘에서는 예상 에너지 비용 합계, 현재 센서 노드의 에너지 잔량, 센서 노드의 CH가 되는 순위 등을 이용하여 염색체를 표현하였으며, 염색체의 센서 노드 에너지 잔량을 재할당하는 변이 연산을 사용하였다. 또한 센서 노드들의 예상 에너지 비용 합계, 에너지 잔량의 평균 및 표준 편차를 구하여 이를 적합도 함수에 적용하였다.

성능 평가를 위해 센서 노드에 대한 에너지 소모량, 에너지 소모량에 따른 데이터 전송량, 시간에 따른 생존 노드수 등을 측정 및 비교하였다. 표1과 같은 제한된 환경의 실험 결과에서 ECGA는 LEACH-C에 비해 데이터 전송량은 60 ~ 70%, 네트워크 수명 연장은 10 ~ 30% 정도의 높은 성능을 나타냄을 확인하였다.

ECGA는 클러스터 그룹 및 클러스터 형성시 유전 알고리즘을 이용하여 CH에서 소모되는 에너지를 CGH와 CH로 분산시켜서 전체 네트워크의 에너지 소모량을 감소시킨다. 또한 기존의 알고리즘에 비해 CH와 CM들과의 평균 거리를 감소시키고, CH가 되는 순번을 지정하여 일정 라운드 동안 고정된 클러스터에서 CH를 순환시키는 방법을 사용함으로써 네트워크의 에너지 이용 효율을 높여 네트워크 수명을 연장하였다.

현재 ECGA는 클러스터 그룹의 수 및 클러스터 그룹

내 클러스터 수를 임의의 적당한 수치로서 실험하였다. 이 수치는 네트워크의 효율에 많은 영향을 미치기 때문에 네트워크의 크기, 센서간의 밀도, 기지국의 위치 등 네트워크의 다양한 특성을 고려해서 최적의 클러스터 그룹 수 및 클러스터 수를 지정하는 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankkarasubraminiam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *Computer Networks*, vol.38, pp.393-422, March 2002.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Infocomm*, pp.1567-1576, June 2002.
- [3] A. Cerpa and D. Estrin, "ASCENT: Adaptive Self-Configuring Sensor Networks Topologies," in *Proceedings of IEEE INFOCOM*, New York, NY, June 2002.
- [4] V. Mhatre and C. Rosenberg, "Design Guidelines for Wireless Sensor Networks: Communication, Clustering and Aggregation", *Ad hoc Network Journal*, Elsevier Science, vol. 2, pp.45-63, 2004.
- [5] W. B. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," Ph. D. dissertation, Mass. Inst. Tech., Cambridge, 2000.
- [6] Wendi B. Heinzelman et al., "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," In *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Science*, Maui, Hawaii, 2000.
- [7] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Co. Inc., N.Y., 1989.
- [8] Ossama Younis, Sonia Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," in *Proceedings of IEEE INFOCOM*, 2004.
- [9] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, The University of Michigan Press, Michigan, 1975.

김진수(Jin-Su Kim)

[정회원]



- 1982년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 숭실대학교 정보산업학과 (이학석사)
- 2007년 6월 : 영남대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1992년 8월 : 정보처리 기술사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 향만물류학부 교수

<관심분야>

데이터베이스, 센서 네트워크, 소프트웨어 공학