

# A Load Balanced Clustering Model for Energy Efficient Packet Transmission in Wireless Sensor Networks

Jae-Hee Lee<sup>†</sup> · Byung-Ki Kim<sup>\*\*</sup> · Seong-Ho Kang<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

The energy conservation is the most important subject for long run operation of the sensor nodes with limited power resources. Clustering is one of most energy efficient technique to grouped the sensor nodes into distinct cluster. But, in a cluster based WSN, CHs and gateways bear an extra work load to send the processed data to the sink. The inappropriate cluster formation may cause gateways overloaded and may increase latency in communication. In this paper, we propose a novel load balanced clustering model for improving energy efficiency and giving a guarantee of long network lifetime. We show the result of performance measurement experiments that designs using a branch and bound algorithm and a multi-start local search algorithm to compare with the existing load balanced clustering model.

**Keywords :** Wireless Sensor Network, Load Balanced Clustering, Energy Efficiency, Local Search Algorithm, Branch And Bound Algorithm

# 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적 패킷 전송을 위한 부하 균형 클러스터링 모델

이 재 희<sup>†</sup> · 김 병 기<sup>\*\*</sup> · 강 승 호<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

제한된 에너지 자원으로 동작하는 무선 센서 네트워크에서는 에너지 소비를 최소화하여 통신하는 방법이 중요한 연구 주제이다. 클러스터 헤드인 가진 구분되는 클러스터 안에 센서 노드를 그룹으로 묶는 클러스터링은 에너지 절약에 가장 효과적인 기술로 알려져 있다. 그러나 클러스터 기반 무선 센서 네트워크에서 클러스터 헤드나 게이트웨이는 수집된 정보를 싱크로 보내는 역할 등을 수행하기 때문에 더 많은 에너지를 소비하게 된다. 부적절한 클러스터의 구성은 게이트웨이에 오버로드를 가중시켜 전체 네트워크의 성능을 저하시킨다. 본 논문에서는 에너지 효율을 높이고 네트워크 수명을 향상시키기 위하여 새로운 부하 균형 클러스터링 모델을 제시하고 이를 분기 한정 알고리즘과 다중시작 지역탐색 알고리즘을 설계하여 기존에 제시된 부하 균형 클러스터링 모델과 비교한 후 성능 측정 실험 후 결과를 제시한다.

**키워드 :** 무선 센서 네트워크, 부하 균형 클러스터링, 에너지 효율성, 지역탐색 알고리즘, 분기 한정 알고리즘

## 1. 서 론

센서 네트워크는 환경 감시, 재난 정보 시스템, 의료 보건, 침입 탐지 등을 포함한 다양한 분야에서의 유용성으로 인하여 많은 연구가 이루어지고 있다[1]. 대부분 무선 센서

네트워크는 감지, 데이터 전송, 전력 공급 유닛을 가진 수많은 작은 센서 노드를 분산 배치하여 구성한다. 제한된 에너지 자원으로 작동하는 무선 센서 네트워크에서는 에너지 소비를 최소화하여 통신하는 기법은 중요한 연구 분야이다. 클러스터 헤드(Cluster Head, 이하 CH)를 가진 구분되는 클러스터 안에 센서 노드를 그룹으로 묶는 클러스터링은 에너지 절약에 매우 효과적인 기술이다[2]. 클러스터 기반 무선 센서 네트워크는 1) 데이터 수집, 라우팅 프로세스와 같이 각각의 클러스터에서 수행되어야 되는 대표적인 작업들을 하나의 노드에서 수행하므로 에너지 소비를 감소시킬 수 있으며 2) 자신의 클러스터 헤드만 통신할 필요가 있기 때문

※ 이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2014R1A1A4A01008799).

† 준 회원 : 전남대학교 진산학과 박사수료

\*\* 중신회원 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 명예교수

\*\*\* 정 회원 : 동신대학교 정보보안학과 조교수

Manuscript Received : October 1, 2015

First Revision : November 3, 2015

Accepted : November 4, 2015

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

에 통신 대역폭을 상당히 절약할 수 있고, 중복 메시지 교환을 피할 수 있다. 3) 작은 라우팅 테이블이 요구되고 경로 설정의 지역화가 가능하기 때문에 클러스터를 더 쉽게 관리할 수 있고 이것은 전체 네트워크의 성능을 향상시키는 장점을 가지고 있다[3]. 그러나 클러스터 기반 무선 센서 네트워크에서 CH는 클러스터 내의 노드들로부터 선출되어 백본 네트워크로 구성되고 지역적으로 수집된 정보를 싱크(sink)로 보내는 역할을 수행하는 데 사용되는 노드이므로 부가적인 작업을 수행해야 한다. 따라서 CH는 이러한 부가적인 작업에 의해 더 많은 에너지를 소비하게 되므로 더 짧은 네트워크 수명을 가지게 된다. 이에 게이트웨이라 불리는 추가적인 에너지 자원을 가진 특별한 노드를 추가시키는 방법이 제안되었다[4-6]. CH와 동일한 기능을 수행하는 게이트웨이 또한 제한된 에너지 자원을 가지고 동작을 하기 때문에 부적절한 클러스터의 구성은 게이트웨이에 오버로드를 가중시켜 전체 네트워크의 성능을 저하시킨다.  $n$ 개의 센서 노드와  $m$ 개의 게이트웨이를 가진 무선 센서 네트워크 환경에서 가능한 클러스터 수는  $m^n$ 이다. 이것으로 최적의 부하 균형 클러스터링을 시키는 것이 brute force 접근 방법이라는 것을 알 수 있다. 따라서 에너지 효율을 높이고 네트워크 수명을 높이기 위해서는 적절한 클러스터링 모델을 사용하여 클러스터링을 수행하고 적용 가능한 휴리스틱 알고리즘을 설계하여 클러스터를 구성하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 효과적인 부하 균형 클러스터링을 구성하기 위한 새로운 클러스터링 모델을 제시한다. 일반적으로 패킷 전송에 소모되는 에너지는 노드 간 거리의 제곱에 비례하는데 기존에 제시된 방법들은 이를 간과하고 거리를 네트워크 부하로 사용하는 한계를 보여주었다. 우리는 네트워크 부하로 거리의 제곱을 사용하여 시뮬레이션한 결과 더 좋은 성능을 확인했다. 본 논문에서는 [7]의 내용을 확장한 것으로 항상 최적해를 보장해주는 분기 한정 알고리즘과 큰 해공간에서 최적해에 가까운 해를 보장하는 다중시작 지역탐색 알고리즘을 설계하여 클러스터링 모델의 효율성을 검증해본다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구, 3장에서는 새로운 부하 균형 클러스터링 모델을 제시하고 분기 한정 알고리즘과 다중시작 지역탐색 알고리즘을 설계한다. 4장에서는 제시한 모델의 효율성을 모의실험을 통하여 기존에 제시된 부하 균형 클러스터링 모델과 비교하고 5장에서는 결론에 대하여 논의한다.

## 2. 관련 연구

무선 센서 네트워크의 부하 균형을 위한 많은 알고리즘이 제시되었다. LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[8]는 널리 알려진 분산 클러스터를 구성하는 방법이다. 네트워크를 구성하는 모든 센서 노드들이 CH의 역할이 가능하고, CH 역할의 노드의 급격한 에너지 소모가 나타날 수 있으므로 전체 노드들이 CH 교체 알고리즘을 사용하여 번갈아 CH 역할을 수행하게 된다. 그러나 이 방법은

몇 가지 문제점을 가지고 있다. 1) 한번 CH로 선택되면 이후 모든 노드들이 CH 역할을 끝마칠 때까지 다시 CH로 선택되지 않는다. 데이터 전송량이 규칙적이지 못한 네트워크에서는 에너지 효율이 떨어진다. 2) 싱글 홉 전송방식을 사용하므로 싱크에 직접적으로 데이터를 전송해야 한다. 이는 결과적으로 더 많은 에너지 소비가 발생된다. 이러한 문제점을 개선한 PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)[9], HEED(Hybrid Energy-Efficient Distributed clustering)[10], TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)[11], TL-LEACH(Two-Level Hierarchy LEACH)[12] 등의 많은 알고리즘이 제시되었다. 그러나 이러한 방법들은 공통적으로 헤더 노드를 일반 노드 중에 선발함으로써 네트워크의 수명 연장에 한계를 가지고 있다. Gupta[4]는 일반 노드보다 초기 에너지량이 큰 헤더 노드를 네트워크에 도입하여 수명 연장을 시도하였다. 이후 Low[5]는 주어진 게이트웨이 노드들의 부하가 균형을 되도록 나머지 일반 노드를 분배하는 부하 균형 클러스터링 문제가 NP-hard임을 증명하고 근사 알고리즘을 제시하였다. Kuila[6, 13, 14]는 이 문제를 해결하기 위해 유전자 알고리즘을 제시하고 Gupta와 Low 방법보다 에너지 효율적임을 보였다. 기존의 많은 클러스터링 알고리즘에서는 노드 간의 거리를 네트워크의 부하균형에 중요한 요소로 간주하였다. 이에 우리는 기존의 부하 균형 문제를 다음과 같이 정의한다.

$$\text{minimize } L = \max \{L_i | \forall g_i \in G\}$$

여기서  $L_i$ 는 클러스터 헤더  $g_i$  부하를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$L_i = \sum_{j \in s_i} d_j$$

$s_i$ 는 클러스터 헤더  $g_i$ 에 속한 일반 센서 노드의 집합을 가리키며  $d_j$ 는 센서 노드와 헤더 사이의 거리를 의미한다. 여기에서 정의한 부하 균형 클러스터링 문제는 각 클러스터의 거리의 합으로 계산되는 부하 편차를 최소화하는 문제이다.

## 3. 부하 균형 클러스터링 모델

### 3.1 에너지 모델

네트워크의 에너지 소비 모델은 LEACH의 제안 모델을 사용한다[8]. 기존의 제안 방법에서도 동일한 에너지 모델을 사용하였기에 비교에 문제가 없을 것으로 판단된다.

$k$ bit의 패킷을  $d$ 미터 떨어져 있는 다른 센서에 송신하는데 드는 전력 소모량은 아래의 식에 의하여 계산한다.

$$E(k, d) = \begin{cases} kE_{Tx} + ke_{fs}d^2 & \text{for } d < d_0 \\ kE_{Tx} + ke_{mp}d^4 & \text{for } d \geq d_0 \end{cases}$$

만약 거리가 임계값  $d_0$ 보다 적다면  $e_s$  모델을, 크면  $e_{mp}$  모델을 사용한다.  $e_s$ 와  $e_{mp}$ 는 에너지 서킷에 의해서 요구되는 에너지량이고,  $k$  bit 패킷을 수신할 때 소모되는 에너지량은 다음 식으로 계산한다.  $E_{Rx}$ 는 비트당 소모되는 에너지량을 말한다.

$$E(k) = E_{Rx}k$$

기존의 방법들이 다루는 부하 균형 클러스터링 문제에서 부하 계산에 사용되는 요소는 노드간의 거리였다. 하지만 사용한 에너지 모델을 살펴보면 실제 에너지 소모량은 거리의 제곱에 비례한다는 사실을 알 수 있다. 그리고 부하를 거리로 사용한 경우와 거리의 제곱을 사용한 경우의 부하 균형 클러스터링 문제는 같지 않으며 따라서 그 해가 항상 일치하는 것은 아니다. 본 논문은 노드간 거리가 아니라 거리의 제곱을 부하로 사용하여 부하 균형 클러스터링 문제를 다시 정의한다.

문제정의)

거리제곱을 부하로 사용한 부하 균형 클러스터링 문제

$$\text{minimize } L = \max \{L_i | \forall g_i \in G\}$$

여기서 
$$L_i = \sum_{j \in \text{adj}(g_i)} d_{ji}^2$$

### 3.2 분기 한정 알고리즘

분기 한정 알고리즘은 다양한 최적화 문제를 풀기 위한 대표적인 알고리즘으로 항상 최적해를 보장해준다[15]. 분기 한정 알고리즘은 모든 후보해를 나열해서 최적화할 수치의 상한이나 하한을 추정하여 해공간의 탐색 영역을 줄이는 방법으로 불필요한 영역을 제거하여 시간 소모를 줄일 수 있다. 본 논문에서는 최적해를 보장해주는 분기 한정 알고리즘을 설계하여 제안 모델의 성능을 확인한다. 기존의 모델들의 방법( $\sum d$ )과 본 논문이 제시한 방법( $\sum d^2$ )을 LEACH의 에너지 모델을 사용하여 에너지 효율성을 비교하기 위해 최적해를 보장하는 분기 한정 알고리즘을 설계하였다.

아래에 분기 한정 알고리즘의 의사코드를 제시한다.

```

Algorithm : Branch_and_Bound
Input : Set of sensor nodes and gate ways
Output : Clustering set of Sensor nodes

mload <- MAX_NUM;
nsensors <- 센서 노드 수
ngates <- 게이트웨이 수
Branch_and_Bound(sol, curbest, n)
Begin
  if (n >= nsensors)
    cld <- Load_Computation(sol, n);
    if (cld < mload) //부하 개선
    
```

```

    mload <- cld; //min load 변경
    bestsol <- sol; //최적해 변경
    Branch_and_Bound(sol, curbest, n-1);
  else
    if (sol[n] >= ngates-1)
      sol[n] = -1;
      if (n - 1 < 0) // 종료 조건
        return; // 종료
      Branch_and_Bound(sol, curbest, n-1);
    else
      sol[n] <- sol[n] + 1;
      cld = Load_Computation(sol, n);
      if (cld >= gload)
        Branch_and_Bound(sol, curbest, n);
      else
        Branch_and_Bound(sol, curbest, n+1);
  End
    
```

```

Function: Load_Computation ( $\sum d$ )
Input: solution, n
Output: maximum load

Load_Computation(sol, n)
Begin
  n번 센서까지만 센서와 게이트웨이까지의 거리 d를
  사용해 각 게이트웨이의 부하 계산;
  maxld <- 게이트웨이의 부하 중 가장 큰 부하;

  return maxld;
End
    
```

```

Function Load Computation ( $\sum d^2$ )
Input: solution, n
Output: maximum load

Load_Computation(sol, n)
Begin
  n번 센서까지만 센서와 게이트웨이까지의 거리의 제곱 d2을
  사용해 각 게이트웨이의 부하 계산;
  maxld <- 게이트웨이의 부하 중 가장 큰 부하;

  return maxld;
End
    
```

### 3.3 다중시작 지역탐색 알고리즘

분기 한정 알고리즘은 한정 함수를 이용하여 탐색 영역을 줄인다 하더라도 전체 해공간을 대상으로 탐색해야 하기 때문에 센서의 수가 많을 경우 적용함에 있어 한계를 보인다. 분기 한정 알고리즘의 문제점인 큰 규모의 네트워크에 적용이 어려운 점을 고려하여 다중시작 지역탐색 알고리즘을 설계하여 큰 규모의 네트워크에서도 클러스터링이 가능함을 보여준다. 다중시작 지역탐색 알고리즘에서 다음번 탐색의 대상이 되는 특정 해에 대한 이웃해는 그와 1비트 다른 해로 정의한다. 따라서 해의 길이가  $n$ 개인 임의의 해에 대한 이웃해는  $n$ 개가 가능하다. 탐색은 이러한  $n$ 개의 해 중 가장 작은 해를 다음 탐색의 대상으로 삼고 동일한 과정을 반복한다. 아래에 다중시작 지역탐색 알고리즘의 의사코드를 제시한다.

```

Algorithm : Multi-start search algorithm
Input : Set of sensor nodes and gate ways
Output : Clustering set of Sensor nodes

Begin
  curbest <- random solution; //현재 최적해
  load = cpt_loads(curbest); //현재 최적해의 부하
  while() {
    bestnsol <- min_load(neighbor); //이웃해 중 load가
    가장 작은 해
    nload <- cpt_loads(bestnsol); //이웃해의 load값
    if (nload < curbest) { //이웃해가 현재의 최적보다 작
    으면
      curbest <- bestnsol; // 해의 갱신
      load <- nload; // load의 갱신
    }
    else
      break; // 탐색 종료
  }
End
  
```

4. 성능 분석

4.1 분기한정 알고리즘 설계

노드 간 거리를 부하로 사용한 경우와 거리의 제곱을 부하로 사용한 경우의 부하 균형 클러스터링의 성능을 측정하기 위해 분기 한정 알고리즘을 설계하였다. 본 논문에서는 거리( $\Sigma d$ )와 거리의 제곱( $\Sigma d^2$ )을 사용하는 클러스터링의 성능을 비교하여 거리를 부하로 사용하는 것보다 거리의 제곱을 사용하는 방법이 에너지 효율성을 높여줄을 보여준다. Table 1은 실험조건을 보여준다.

Table 1. Simulation Parameters I

Parameter	Value
Area	200×200 $m^2$
Sensor nodes	10, 15, 20
Gateways	3
Initial energy of sensor nodes	2 J
$E_{Tx}$	50 nJ
$E_{Rx}$	50 nJ
$e_{fs}$	10 pJ/bit/ $m^2$
$e_{mp}$	0.0013 pJ/bit/ $m^4$
$E_{DA}$	5 nJ
$d_0$	87.0 m
Packet size	525 bytes

200m×200m 공간에 3개의 게이트웨이와 10, 15, 20개의 센서들을 무작위로 배치하고 거리를 부하로 사용한 경우와 본 논문이 제시한 거리의 제곱을 부하로 사용한 경우 각각에 대해 최적 클러스터링을 계산하였다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 두 문제의 최적해가 반드시 일치하는 것은 아님을 확인할 수 있다. Fig. 1의 네트워크는 3개의 게이트웨이와 15개

의 센서로 구성되어있고 베이스 노드는 센서들의 메디안 값으로 위치를 지정하였다.

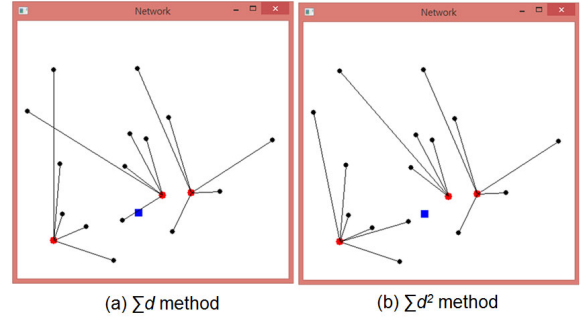


Fig. 1. Comparison of Clustering Between  $\Sigma d$  Method and the  $\Sigma d^2$  Method

매 라운드마다 모든 센서는 자신이 속한 클러스터의 헤더에 525 bytes의 패킷을 전송하고 각 클러스터 헤더는 전송 받은 패킷을 베이스 노드에 직접 전송한다. 일반적으로 네트워크 수명은 에너지가 방전된 센서가 최초로 발생할 때까지의 라운드 수로 정의된다.

Fig. 2는 분기한정 알고리즘으로 설계하여 20개의 네트워크를 생성해 시뮬레이션하고 네트워크 수명을 평균한 것이다. 모든 센서 수에서 거리의 제곱을 부하로 사용한 방법의 네트워크 수명이 길다는 사실을 알 수 있다.

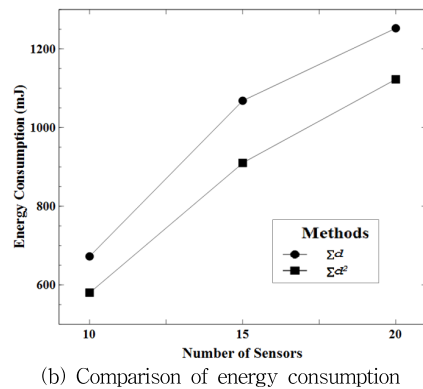
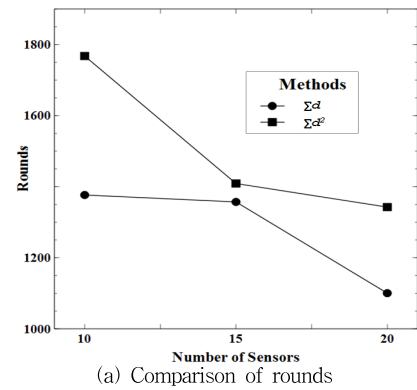


Fig. 2. Comparison of (a) Rounds and (b) Energy Consumption until the First Dead Sensor Appears between  $\Sigma d$  Method and the  $\Sigma d^2$  Method

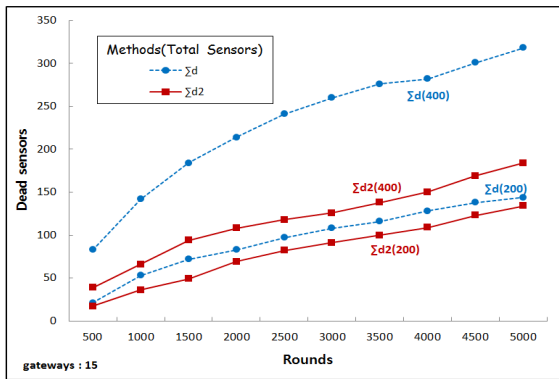
4.2 다중 지역탐색 알고리즘 설계

큰 규모의 네트워크에서도 최적해에 가까운 해를 보장해주는 다중 시작 지역탐색 알고리즘으로 설계하여 노드 간 거리를 고려한 방법과 비교한 후 라운드에 따른 dead 센서 수를 비교하여 시뮬레이션하기 위하여 Table 2와 같은 실험 조건을 사용하였다. 센서 노드와 게이트웨이의 수를 제외한 나머지 조건은 Table 1에서 사용한 것과 같다.

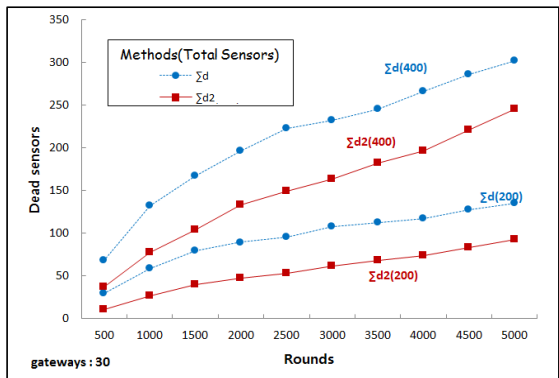
Table 2. Simulation Parameters II

Parameter	Value
Sensor nodes	50-400
Gateways	15, 30

게이트웨이가 15개, 30개이고, 센서 수가 50개와 400개 사이의 개수로 주어졌을 경우, 각각의 네트워크에서 50에서 400개까지의 센서를 가지고 최대 5000라운드에 도달할 때까지 수명을 다한 센서의 수를 거리를 사용하는 경우와 거리 제곱을 사용하는 경우를 비교하였다. Fig. 3은 센서 노드 수가 200개, 400개인 경우를 비교한 그래프이다. 그 결과 제안 방법이 평균 103개, 거리를 사용하는 방법은 153.3개로 약 50개, 33% 더 적은 데드 센서의 수로 나온 결과를 나타냈다.



(a) For 200, 400 Sensor Nodes and 15 Gateways

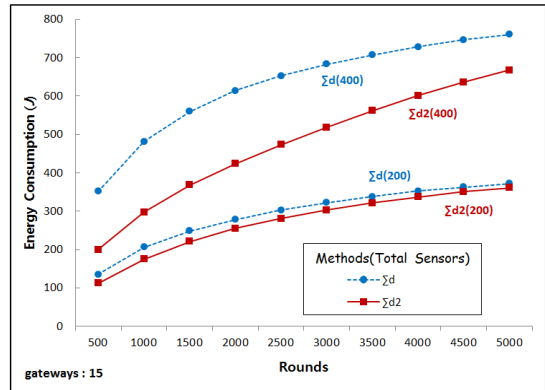


(b) For 200, 400 Sensor Nodes and 30 Gateways

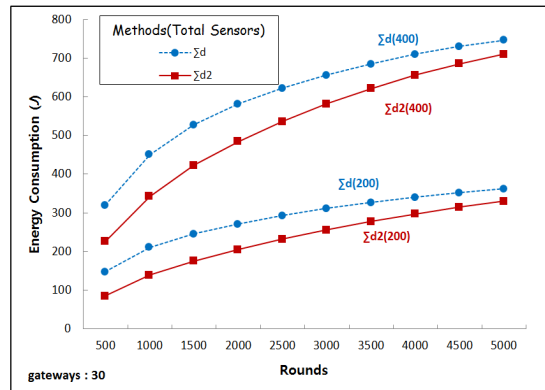
Fig. 3. Comparison of the Number of Dead Sensor Nodes between  $\Sigma d$  Method and the  $\Sigma d^2$  Method when (a) 15 Gateways, (b) 30 Gateways were Assigned Respectively

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 환경에서 각 라운드에서의 에너지 소비량을 비교하여 센서 노드 수가 200개, 400개인 경우의 에너지 소비량 차이를 나타낸 그래프이다. 센서 노드의 수가 많을 경우 더 많은 에너지 소비량 차이를 나타낸다.

전체적으로 모든 라운드에서 거리의 제곱을 사용한 방법의 에너지 소비율이 고르게 낮음을 확인하였고 평균 65.5J 약 15%의 에너지의 소비량이 감소됨을 확인하였다.



(a) For 200, 400 Sensor Nodes and 15 Gateways



(b) For 200, 400 Sensor Nodes and 30 Gateways

Fig. 4. Comparison in Terms of Energy Consumption between  $\Sigma d$  Method and the  $\Sigma d^2$  Method with (a) 15 Gateways, (b) 30 Gateways

5. 결론

본 논문은 센서의 에너지 효율과 네트워크 수명을 보장하기 위한 부하 균등 클러스터링 모델을 제시하였다. 게이트웨이를 사용하여 구성된 센서 네트워크 아키텍처에서 노드 사이의 거리의 제곱을 부하로 사용하였다. 노드 사이의 거리를 부하로 사용하는 기존 모델들이 제시한 부하 균등 클러스터링 모델과 에너지 효율에서의 성능을 비교 분석하기 위하여 최적해를 보장하지만 큰 네트워크에서는 적용이 어려운 분기 한정 알고리즘과 항상 최적해를 보장하지는 못하지만 대규모 네트워크를 대상으로도 클러스터링이 가능한 메타 휴리스틱 알고리즘인 다중 시작 지역탐색 알고리즘을

설계하였다. 성능을 분석하기 위하여 다양한 실험 환경을 구성하여 실시하였다. 실험 결과 게이트웨이에 노드를 분배하는 경우 노드 간의 거리를 부하로 고려하는 방법에 비하여 노드 간 거리 제곱을 부하로 고려한 최적 클러스터링이 네트워크의 수명과 에너지 효율성 모두에서 더 좋은 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 무선 센서 네트워크의 구성을 설계할 때 센서의 수뿐 아니라 거리에 따른 센서의 선택 등에 있어 참고 자료로 이용될 것으로 기대된다.

### References

[1] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol.3, No.3, pp.325-349, 2005.

[2] J. Yick, B. Mukherjee and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, Vol.52, No.12, pp.2292-2330, 2008.

[3] A. A. Abbasi and M. Younis, "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks," *Computer Communications*, Vol.30, No.14, pp.2826-2841, 2007.

[4] G. Gupta and M. Younis, "Load-balanced clustering of wireless sensor networks," *Communications, ICC'03. IEEE International Conference on*, IEEE, pp.1848-1852, 2003.

[5] C. P. Low, C. Fang, J. M. Ng, and Y. H. Ang, "Efficient load-balanced clustering algorithms for wireless sensor networks," *Computer Communications*, Vol.31, No.4, pp.750-759, 2008.

[6] P. Kuila and P. K. Jana, "Improved load balanced clustering algorithm for wireless sensor networks," *Advanced Computing, Networking and Security, Springer Berlin Heidelberg*, pp.399-404, 2012.

[7] J. H. Lee, B. K. Kim, and S. H. Kang, "Energy Effective Load Balanced Clustering Model for Wireless Sensor Networks," *The 2015 Fall Conference of the KIPS*, Vol.2, No.22, pp.379-382, 2015.

[8] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, Vol.1, Issue.4, pp.660-670, 2002.

[9] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems," *Aerospace Conference Proceedings IEEE*, Vol.3, pp.3- 1125-3-1130, 2002.

[10] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, Vol.3, Issue.4, pp.366-379, 2004.

[11] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks," *IEEE*, pp.2009-2015, 2001.

[12] V. Loscri, G. Morabito, and S. Marano, "A two-levels hierarchy for low-energy adaptive clustering hierarchy (TL-LEACH)," *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.1809-1813, 2005.

[13] P. Kuila and P. K. Jana, "Energy efficient load-balanced clustering algorithm for wireless sensor networks," *Procedia Technology*, Vol.6, pp.771-777, 2012.

[14] P. Kuila, S. K. Gupta, and P. K. Jana, "A novel evolutionary approach for load balanced clustering problem for wireless sensor networks," *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol.12, pp.48-56, 2013.

[15] J. Hromkovic, "Algorithmics for Hard Problems," 2nd ed., Springer, 2004.



### 이재희

e-mail : jaeh099@gmail.com

1995년 전남대학교 임산가공학과(학사)

2003년 전남대학교 전산학과(석사)

2005년 전남대학교 전산학과 박사수료

2015년~현 재 국립농업과학원 농업생명  
자원부 연구원

관심분야 : 센서 네트워크, 패턴인식, 알고리즘, 소프트웨어 공학



### 김병기

e-mail : bgkim@jnu.ac.kr

1978년 전남대학교 수학교육과(학사)

1980년 전남대학교 수학과(석사)

2009년 전북대학교 수학과(박사)

1981년~2014년 전남대학교 전자컴퓨터

공학부 교수

2007년 한국정보처리학회 회장

2014년~현 재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 명예교수

관심분야 : 소프트웨어공학, 객체지향설계, 알고리즘



### 강승호

e-mail : kinston@gmail.com

1994년 전남대학교 전산학과(학사)

2003년 전남대학교 전산학과(석사)

2009년 전남대학교 전산학과(박사)

2009년~2010년 목포대학교 정보산업연구소

전문연구원

2010년~2013년 국가수리과학연구소 융복합수리과학연구부 연구원

2013년~현 재 동신대학교 정보보안학과 조교수

관심분야 : 센서 네트워크, 네트워크 보안, 알고리즘, 패턴인식