

무선센서네트워크에서 부하 균등화를 위한 클러스터링 최적화 프로토콜

최해원*, 김상진*, 피수영**, 장주석***
경운대학교 컴퓨터공학과*, 대구카톨릭대학교 교양학부**, 경운대학교 모바일공학과***

Optimization Protocol using Load Balancing for Hierarchical Wireless Sensor Network

Hae-Won Choi*, Sang-Jin Kim*, Su-Young Pye**, Chu-Seock Chang***

Dept. of Computer Engineering Kyungwoon University*

Dept. of Computer Engineering, Catholic University of Daegu**

Dept. of Mobile Engineering Kyungwoon University***

요약 무선센서네트워크(WSN)는 다양한 환경에서 정보수집을 목적으로 하는 응용분야에 널리 사용된다. WSN을 구성하는 센서노드는 저 전력 배터리를 기반으로 동작하므로 이를 고려한 WSN 수명연장은 중요한 연구목표이다. 본 논문은 효율적인 WSN을 구성하기 위해 노드의 에너지 소비는 적으면서도 클러스터 부하 균등화를 이룰 수 있는 최적화된 클러스터링 프로토콜을 제시한다. 프로토콜의 핵심 아이디어는 센서노드가 저장할 수 있는 정보용량의 한계를 이용해서 클러스터 멤버노드와 클러스터 밀집도가 균등분포(load balancing)되도록 하는 것이다. 또한 최적 클러스터 헤드 확률모델을 도입해서 WSN을 분할하는 클러스터가 최적화 되도록 한다. 이를 통해서 네트워크 부하의 적절한 분산과 에너지 소비 효율을 극대화하는 성능개선을 이끌어 낼 수 있다. 성능평가 결과 제안하는 프로토콜은 대표적인 계층형 프로토콜인 LEACH와 최근에 제안된 클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜(CBLM)보다 더 수명이 연장되고 안정화 될 수 있었다.

주제어 : 클러스터링, 에너지 밸런스, 에너지 효율성, 네트워크 수명, 무선센서네트워크

Abstract The Wireless sensor network(WSN) consisting of a large number of sensors aims to gather data in a variety of environments. The sensor nodes operate on battery of limited power. so, To extend network life time is major goals of research in the WSN. In this paper, we state the key point of a energy consumption with minimum&load balancing. The proposed protocol guarantee balance of cluster member nodes using the node memory threshold and optimization of distribution of cluster head using the optimized clustering method. The results show that the proposed protocol could support the load balancing and high energy efficiency by distributing the clusters with a reasonable number of member nodes. The simulation results show that our schme ensure longer life time in WSN as compare with existing schemes such as LEACH and CBLM.

Key Words : Clustering, Load Balancing, Energy Efficiency, Network Life Time, Wireless Sensor Network

Received 6 September 2013, Revised 27 September 2013
Accepted 20 October 2013
Corresponding Author: Chu-Seock Chang(Kyungwoon University)
Email: happychw@ikw.ac.kr

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1738-1916

1. 서론

무선 센서네트워크(WSN)는 배터리를 통해 전원을 공급받는 센서들로 구성되며 특정한 임무를 수행하기 위해 구축된다. WSN은 소형화, 저전력, 저비용의 특징을 가지며 군사, 의학, 과학 등의 매우 다양한 분야에서 응용되고 있다. 특히 자동망 구성 기능을 가진 WSN의 특징을 살려 사람이 접근하기 어려운 환경의 정보 획득을 목적으로 하는 응용분야에 중요한 수단을 제공한다[1-4].

WSN의 응용분야는 매우 다양하지만 센서노드가 구성요소가 되므로 센서노드의 특성으로 인한 한계점을 가진다. 그 중 가장 중요한 이슈가 되는 것은 저전력 배터리의 사용으로 인한 수명문제이다. 센서노드의 수명은 곧 센서네트워크의 수명으로 귀결되며 이는 응용의 목적 달성 여부를 좌우 할 수 있는 중요한 문제이다. 무선 센서 노드가 WSN에서 사용하는 에너지는 크게 데이터 센싱 에너지, 프로세스 처리 에너지, 송수신 에너지로 나눌 수 있는데 이 중 송수신 에너지의 소비량이 가장 크다. 그러므로 송수신 에너지를 감축하는 방법이 WSN 수명연장의 출발점이 된다.

센서노드의 송수신 에너지 소비는 라우팅 프로토콜과 밀접한 연관성이 있고, 라우팅 프로토콜은 네트워크 구조에 좌우된다. 그러므로 WSN 구조에 대한 많은 연구가 진행되었으며 크게 평면형 구조와 계층형 구조로 나눌 수 있다[5-8]. 평면형 구조는 초기 애드-혹(ad-hoc) 네트워크를 위해 개발된 구조로서 네트워크 전체를 하나의 영역으로 간주하여 모든 센서노드들이 동일한 기능과 역할을 수행한다. 그러나 에너지가 제한된 WSN 특성 상 데이터를 전송하는 경우 많은 센서노드가 역할을 분담하게 되고 이는 많은 에너지 소비를 유발하는 문제가 있다.

평면형 구조의 문제점을 개선하기 위해 개발된 계층형 구조는 WSN을 클러스터(cluster)라는 영역들로 분할하며 각 클러스터에는 클러스터 헤드(cluster head)가 존재한다. 센서노드는 클러스터 헤드를 통해 싱크(sink)로 데이터를 전송한다. 이러한 방법을 통해 평면형 구조에 비해 메시지의 송수신 횟수를 감소시켜 에너지 소비를 줄일 수 있는 장점이 있다. 하지만 이러한 노드 역할 분담은 클러스터 헤드 노드와 멤버노드간의 비대칭적인 에너지 소비 문제를 야기한다. 즉 데이터 전송 에너지 소비는 거리에 비례하기 때문에 멀리 떨어진 기지국까지 데

이터를 직접 전달하는 클러스터 헤드는 멤버노드에 비해서 에너지 소비가 상대적으로 더 크게 되는 것이다. 이와 같은 비대칭적 에너지 소비문제는 네트워크 일부분에 부하가 집중되도록 하고 결과적으로 WSN 수명저하의 원인이 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 조건으로 전체 노드 대비 클러스터 헤드의 최적비율과 각 클러스터 멤버노드 수의 균등분포(load blancing) 그리고 클러스터가 네트워크 한쪽에 치우치지 않도록 클러스터 밀도 균등화 등이 필요하다. 물론 노드 메시지 전송 시에 에너지 소비를 최소화 할 수 있는 방법에 대한 선처리는 필수 조건이다.

이를 구현하기 위한 본 논문의 아이디어는 센서노드가 저장할 수 있는 정보의 한계(메모리 임계치)와 최적 클러스터 헤드 비율을 이용하는 것이다. 이를 통해 노드 균등분포(load balancing)와 클러스터 최적화를 이룸으로서 네트워크 에너지 소비 효율을 극대화 할 수 있다. 또한 메시지 전송범위를 네트워크 전체 범주 전송이 아닌 한 홉 단위 전송을 하고 이를 메모리 임계치 기법과 연동함으로써 부하의 적절한 분산율과 노드 에너지 소비 최소화를 동시에 만족할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 대표적인 계층형 구조 프로토콜인 LEACH와 최근에 제안된 클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜에 대한 간략화 된 설명과 문제점을 분석한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 클러스터링 최적화 프로토콜에 대해 상세히 살펴보고, 4장에서는 제안된 기법과 기존 연구들과의 비교 분석을 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

본 장에서는 대표적인 계층형 프로토콜인 LEACH와 LEACH를 기반으로 클러스터 균등분포 방법을 제시한 클러스터 기반 지역 멀티홉 라우팅 프로토콜[9,10]에 대해 살펴보고 이에 대한 문제점을 분석한다.

2.1 LEACH 프로토콜

LEACH는 가장 대표적인 계층형 프로토콜로서 LEACH-C, PEACH, HEED 등 많은 프로토콜의 토대가 되었다[11-15]. LEACH는 크게 클러스터를 구성하는 형

성과정과 감지(Sensing)된 데이터를 전송하는 지속상태(Steady)과정으로 구성된다. 이를 위한 세부과정은 아래와 같다.

step 1: 각 노드는 라운드 시작 시점마다 아래 식에 따라 스스로 클러스터 헤드로 선정 될 확률을 구한다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{n - k(r \bmod \frac{n}{k})} & : c_i(t) = 1 \\ 0 & : c_i(t) = 0 \end{cases}$$

i : 노드 식별자, t : 시간, n : 전체 노드 수,
 k : 클러스터 수, r : 라운드

여기서 $C_i(t)$ 는 지시함수로서 $r \bmod(n/k)$ 라운드 동안 해당 노드가 클러스터 헤드로 있었다면 0으로 아니면 1로 설정된다. 이는 한번이라도 헤드 역할을 했던 노드를 배제함으로써 모든 노드가 동일한 확률로 클러스터 헤드가 되는 것을 보장하기 위함이다.

step 2: 클러스터 헤드로 결정된 노드들은 멤버노드들에게 헤드임을 알리는 메시지를 브로드캐스트한다. 이때 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신한다.

step 3: 모든 헤드로부터 메시지를 수신한 각 노드들은 메시지의 신호강도를 계산하여 자신에게 가장 가까운 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 결정한다.

step 4: 각 노드는 자신의 헤드에게 클러스터에 참여하겠다는 연결허락 메시지를 발신한다. 마찬가지로 각 노드는 헤드의 네트워크상의 위치를 모르므로 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신한다.

step 5: 각 헤드들은 일반노드들이 보낸 연결허락 메시지를 수신하여 클러스터를 완성한다.

step 6 : 각 라운드마다 단계1에서 5를 반복한다.

LEACH는 클러스터 구성이 완료된 후 데이터 감지 임무를 수행하면서 센서노드의 에너지 균등소비를 위해서,

step 1에서 보는바와 같이 클러스터 헤드를 주기적으로 확률에 의해 선택한다. step 2~4는 클러스터 구성의 표준 단계로서 LEACH 이후에 연구된 많은 계층형 프로토콜들이 베이스로 사용하는 방법이다. LEACH는 이와 같이 매우 중요한 연구이지만 효율성에서는 개선점이 있다. 그 중 대표적인 것이 노드의 에너지 소비를 촉진시키는 네트워크 전체 범주의 데이터 전송이다. 송신 에너지 소비는 전송거리의 제곱에 비례해서 늘어나므로 네트워크 전체 범주의 전송은 노드 에너지 소비를 급속하게 진행시키는 문제가 있다. 또한 확률에 의해서 클러스터 헤드 균등분포를 지향했지만 엄밀한 의미의 균등분포는 아니므로, 각 노드의 에너지는 균형 있게 소비되지 못한다. LEACH의 문제점을 해결하기 위한 다양한 후속 연구가 있었는데, 그 중 최근에 제시된 프로토콜 중에서 클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜이 있다[10].

2.2 클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜

클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜은 LEACH관련 프로토콜의 공통적인 문제점을 해결하기 위해서 최적 클러스터 헤드 확률 모델(P_{opt})[16]을 사용해서 각 노드의 에너지 소비를 균등하게 분산시킨다.

이 확률 모델은 클러스터 헤드와 노드들 간의 예상거리, 클러스터 헤드의 전송 거리와 노드의 에너지를 이용해서 최적의 클러스터 헤드 수를 설정한다. 클러스터 헤드 선정을 위해 각 센서 노드들은 0과 1사이에서 임의의 수를 정한다. n 번째 센서노드가 생성한 수가 임계값 $T_{new}(n)$ 보다 작다면 그 노드는 해당 라운드의 클러스터 헤드로 선출된다. 임계값 $T_{new}(n)$ 은 다음과 같다.

$$T_{new}(n) = \frac{P_{opt}}{1 - P_{opt} \times (r \bmod \frac{1}{P_{opt}})}, \forall n \in G \quad (1)$$

$$T_{new}(n) = 0, \forall n \notin G \quad (2)$$

여기서 r 은 현재 라운드, G 는 이전 $1/P_{opt}$ 라운드 동안 클러스터 헤드로 선출되지 않은 노드들의 집합을 의미하고 P_{opt} 는 최적 클러스터 헤드 비율이다. 이와 같이 클러스터 헤드를 선출 후, 각 클러스터 헤드는 자신이 클러스터

헤드로 선출되었음을 브로드캐스팅한다. 메시지를 수신한 센서노드들은 신호 세기를 비교해서 가장 신호강도가 높은 클러스터 헤드를 선택하고 역으로 *join* 메시지를 전파함으로써 클러스터 구성을 완료한다.

클러스터를 구성한 후 클러스터 내의 각 노드 사이의 멀티 홉 경로를 구성하기 위해 클러스터 헤드와 멤버노드는 *join*과 확인메시지를 반복해서 주고받음으로서 경로를 설정한다. 이를 통해 각 클러스터 멤버노드는 클러스터 헤드를 최종 목적지로 하는 경로를 저장하게 된다.

2.3 기존연구의 문제점

LEACH와 클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜을 포함한 기존의 계층형 프로토콜들 연구는 WSN 수명 최대화를 위한 다양한 관점을 제시했다. 하지만 효율적인 에너지 소비 측면에서 매우 중요한 문제점을 간과한 것이 있다. 그것은 노드 에너지 소비와 클러스터 균등분포(load balancing) 그리고 클러스터 최적화를 연동해서 보는 것이다.

이와 같은 관점에서 바라볼 때 LEACH는 단지 확률 계산에 의해 헤드노드를 선출하기 때문에 균등분포실효성이 매우 떨어진다. 이를 개선하기 위해 클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜은 최적의 헤드 노드 수를 도입했다. 하지만 헤드노드 숫자만 최적화 한다고 해서 각 클러스터의 멤버노드 구성이 균등화되었다는 보장이 없으므로 진정한 최적화라고 볼 수 없다. 즉 클러스터 최적화는 헤드 노드 수의 최적화 뿐만 아니라 각 클러스터 멤버노드 수의 균등분포 그리고 네트워크 일부분에 헤드노드가 집중되는 문제를 방지하는 클러스터 밀집도의 균등분포까지 보장되어야 한다. 제안하는 프로토콜은 이를 만족하는데 초점을 맞춘다. 이에 대한 자세한 세부설명은 다음 장에서 한다.

3. 클러스터링 최적화 프로토콜

본 장에서는 위와 같은 문제점을 해결하고 성능을 개선한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안하는 프로토콜은 최적화된 클러스터 구성을 위해 노드 메모리 임계치와 [16]에서 제안한 최적 클러스터 헤드 확률 모델(P_{opt})을 결합해서 이용한다. 즉 센서노드와 센서노드 사이의 연

결도 정보와 각 노드의 개별 에너지 정보를 저장하는 메모리 임계치(Threshold)를 이용해서 클러스터 멤버노드 수와 밀집도가 균등하도록 클러스터를 구성한다. 이 과정에서 메모리 임계치 조건을 만족하는 모든 노드를 프로토콜에 이용하는 것이 아니라 P_{opt} 를 이용해서 최적 숫자의 클러스터 헤드를 보장하도록 한다.

3.1 균등분포를 위한 임계치 설정 단계

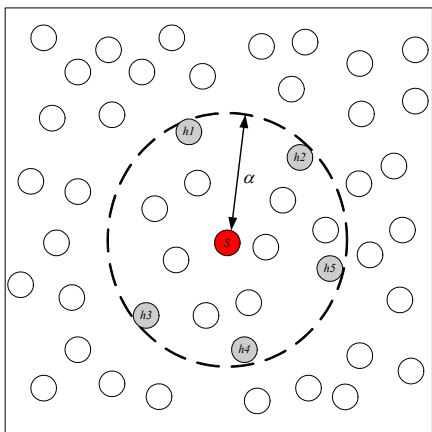
제안하는 프로토콜은 노드 에너지 소비를 최소화하기 위해 노드 한 홉 단위로 메시지를 전송한다. 이를 위해서는 노드 사이의 연결도 정보를 각 노드가 저장하고 있어야 한다. 뿐만 아니라 센서노드는 자신과 상대방의 에너지 등 상태정보를 저장하고 있어야 한다. 이를 처리하기 위해 본 논문에서는 연결도 테이블과 에너지 테이블 자료구조를 사용한다. 여기서 연결도 테이블은 노드와 노드 사이의 연결도 정보를 1비트 단위로 저장하고, 에너지 테이블은 노드의 개별 ID와 에너지 정보를 저장한다.

이와 같은 자료구조를 사용하는 이유는 자료구조의 메모리 용량이 노드 수에 비례해서 증가하기 때문이다. 즉 싱크노드로부터 시작해서 각 노드들이 메시지를 한 홉 단위로 전파하면서 자신의 정보를 연결도 테이블과 에너지 테이블에 갱신할 때마다 테이블의 용량은 증가한다. 하지만 센서노드의 메모리는 한계가 있기 때문에 테이블을 저장하는 것 역시 제약이 있게 된다. 본 논문에서는 이러한 노드 메모리 제약을 이용해서 클러스터 멤버노드가 균등분포 되도록 한다.

노드 메모리 한계치를 일반화하기 위해서 네트워크 전체 노드 수를 n 이라하면, 에너지테이블을 위해 $n \log n$ 비트가 필요하고 연결도 테이블을 위해 n^2 비트가 필요하다. 그렇다면 메모리 임계치 a 는 하나의 센서노드에서 에너지테이블과 연결도 테이블의 최대 저장 가능 용량을 고려하여 $2n \log n + n^2 > a$ 로 설정 할 수 있다. 부가적으로 a 는 적용하고자 하는 응용의 특성에 맞게 융통성 있게 정의할 수 있다.

그림 1은 테이블 저장 임계치 a 의 개념을 나타낸다. 그림 1에서 싱크노드(S)를 중심으로 각 노드들이 메시지를 전파해 나감에 따라 각 노드의 정보들이 누적되고 결과적으로 테이블 저장 임계치에 도달하는 노드들이 (h_1, h_2, h_3, h_4, h_5) 나타남을 알 수 있다. 이러한 노드들은 자신의 메모리에 저장된 정보를 바탕으로 a 를 반지름으

로 하는 일정 크기의 영역(클러스터)을 형성할 수 있다. 하지만 임계치에 도달하는 모든 노드들이 클러스터 구성을 위한 헤드 노드가 된다면 WSN은 너무 많은 수의 클러스터로 분할된다. 그러므로 적절한 숫자의 클러스터 헤드를 선정하고, 선정된 노드가 주체가 되어 클러스터를 구성하기 위해 최적 클러스터 헤드 확률 모델을 이용한다. 이에 대한 자세한 설명은 다음 장에서 한다.



[Fig. 1] A notion of Memory critical value α

3.2 클러스터 구성과 최적화 단계

노드 메모리 임계치와 최적 클러스터 헤드 확률 모델 (P_{opt})을 이용해서 최적화된 클러스터를 생성하는 단계는 다음과 같다. 먼저 싱크노드가 초기화된 에너지테이블과 연결도 테이블을 포함하는 클러스터 생성 메시지를 송신하면 각 노드는 다음과 같은 step을 수행한다.

step 1: 메시지에 포함된 정보를 이용하여 다음을 수행한다. 이때 각 노드는 클러스터 생성 메시지를 단 한번만 송신한다.

```

if((테이블 임계치) < a && n(num) < Tnew(n))
    if (노드 n의 식별자가 연결도
        테이블에 존재하는가?)
    { 수신된 연결도테이블과 자신의 연결도테이
        블을 ID가 동일한 열끼리 OR 연산을 수행.}
    else
    { ID와 에너지 잔류량을 에너지테이블의 마지
        막 위치 m에 삽입. }
    
```

```

end if
else
    { 임계치와 Popt 조건을 모두 만족하는 노
        드는 현재까지의 정보를 저장하고 클러
        스터 헤드노드가 된다.
    }
end if
    
```

step 2: 선택된 클러스터 헤드노드는 나머지 WSN 영역에 대한 클러스터링을 완성하기 위해서, 초기화된 에너지테이블과 연결도 테이블을 포함하는 클러스터 생성 메시지와 헤드 선정 메시지를 한 홉 단위로 전송한다.

step 3: if (클러스터 생성 메시지를 처음 수신 한 노드 라면 ?)

```

    { setp 1 단계를 수행한다.}
else
    { 각 노드는 가장 먼저 들어온 헤드선정메시지에 저장된
        헤드 ID를 클러스터의 헤드로 선택하고 저장한다.}
    
```

step 4: if (이미 처리한 동일 메시지를 수신한 노드)

```

    { 테이블 정보만 갱신하고, 메시지를 재전송
        하지 않는다.}
else
    { 자신의 연결도 테이블과 에너지 테이블의
        정보를 갱신한다. 정보의 갱신이 완료된
        후, 노드는 갱신된 연결도 테이블과 에너지
        테이블을 포함한 헤드 선정 메시지를 이웃
        노드들에게 전송한다.}
    
```

step 5: 헤드를 선택한 노드는 헤드를 목적지로 하는 연결 허락 메시지를 연결도 테이블에 저장된 라우팅 정보를 이용해서 송신한다.

step 6: 각 노드는 메시지를 송신 한 후에 수신한 메시지는 자신의 클러스터 ID가 아니면 무시한다.

step 7: 헤드노드는 멤버 노드들이 보낸 연결허락 메시지를 수신하고, 자신의 연결도 테이블과 에너지 테이블의 정보를 갱신한다.

setp 1에서, 클러스터 생성 메시지를 수신한 각 노드는 자신의 에너지테이블과 연결도 테이블을 응용의 속성에 적합하도록 미리 설정된 임계치 a 와 비교한다. 만약 자신의 메모리 사용량이 a 보다 적다면 자신의 에너지테이블과 연결도 테이블을 갱신/저장한 후, 메시지를 브로드캐스트한다. 그렇지 않고 자신의 메모리 사용량이 a 보다 크다면 클러스터 헤드가 될 수 있는 후보가 된다. 이와 같은 클러스터 헤드 후보노드들은 최적 클러스터 헤드 확률 모델을 이용해서 생성한 수가 임계값 $T_{new}(n)$ 보다 작은 조건을 만족하는 경우에만 클러스터 헤드로 선출된다. 이를 통해서 모든 클러스터 헤드 후보노드들이 클러스터 생성 메시지를 브로드캐스트 함으로서 비효율적으로 많은 클러스터로 분할되는 문제를 막고 최적 수의 클러스터를 유지할 수 있다.

클러스터 헤드로 선출된 노드는 step 2에서 초기화된 연결도/에너지 테이블을 포함하는 클러스터 생성메시지를 한번만 송신함으로써 제 2의 싱크노드 역할을 한다. 클러스터 생성 메시지를 처음 수신한 노드들은 step 1을 수행함으로써 임계치 a 를 만족하는 일정 크기의 클러스터를 구성한다. 이를 통해 WSN의 전체 영역에 클러스터를 구성할 수 있다.

노드가 클러스터에 중복되어 가입하는 경우를 방지하기 위해서 step 3에서 각 노드는 가장 먼저 들어온 헤드노드 선정메시지에 포함된 헤드노드를 자신의 클러스터 헤드노드로 선택한다. 헤드노드를 선택한 멤버노드는 자신이 선택한 헤드노드에게 연결허락 메시지를 전송함으로써 헤드노드와 멤버노드 사이의 데이터 전송경로를 확립한다. step 4에서 노드가 동일한 메시지를 수신할 경우 노드는 연결도 테이블의 정보만을 갱신하고 메시지는 재전송하지 않는다. 이렇게 함으로써 노드의 메시지 송수신 에너지 소비를 최대한 줄이고 네트워크에 오버헤드도 줄일 수 있다. 하지만 동적인 네트워크의 정보는 수신된 메시지를 통해 테이블의 정보를 갱신함으로써 유지할 수 있다. step 5~7을 통해 각 노드는 자신의 클러스터 헤드를 선택하고, 선출된 클러스터 헤드노드는 각 노드가 보낸 연결도 테이블과 에너지테이블을 유지함으로써 각 멤버노드들에 대한 전송경로와 에너지 잔류량을 확인 할 수 있다.

이와 같은 클러스터 구성과 최적화 단계를 통해서 결과적으로 클러스터 멤버노드 수의 균등분포와 클러스터

밀집도의 균등분포를 보장하는 클러스터가 완성되고, 클러스터 멤버노드와 헤드노드는 한 홉 단위 노드연결정보와 상태정보를 저장하게 된다.

3.3 데이터 수집 및 전송 단계

수집된 데이터 전송을 위한 구체적인 step은 아래와 같다. 감지 데이터 보고 메시지를 수신한 각 노드는 step 1을 수행한다.

step 1: 데이터를 감지한 노드는 자신의 연결도 테이블을 이용해서 헤드노드까지의 최단거리 경로를 설정하고 보고 감지데이터 보고 메시지를 브로드캐스트한다.

step 2: 헤드노드까지의 경로에 속한 중간노드들은 수신된 메시지에 자신의 ID가 존재한다면 메시지를 발송하고, 그렇지 않으면 무시한다.

step 3: 헤드노드는 각 멤버노드들이 보낸 감지데이터 보고메시지를 수신한 후 데이터를 병합한다. 헤드노드는 싱크노드를 최종 목적지로 설정하고 이웃 헤드노드에게 메시지를 브로드캐스트한다.

step 4: 목적지까지의 경로에 속한 중간 헤드노드들은 이미 전송한 메시지만 경우 무시하고, 그렇지 않다면 이웃 헤드 노드에게 전송한다.

계층형 구조에서 헤드노드는 싱크를 최종 목적지로 보고 메시지를 전송한다. 이때 헤드 노드의 에너지 소비는 전송 메시지의 거리에 비례해서 소비된다. LEACH나 최적 클러스터 헤드 확률 모델 기법 뿐만 아니라 대부분의 계층형 프로토콜에서 헤드 노드는 싱크노드에게 네트워크 전체 범주의 전송강도로 보고 메시지를 전송한다. 하지만 제안하는 프로토콜은 헤드 메시지 전송 범위를 네트워크 전체 범주가 아닌 클러스터 폭의 2배 범위로 줄일 수 있다. 즉 생성된 모든 클러스터는 메모리 임계치를 만족하는 동일한 조건으로 생성되었으므로, 각 클러스터의 영역면적은 일정하다. 그러므로 헤드 노드는 자신에게 저장된 다중경로 중에서 가장 긴 경로를 선택하고, 이 경로의 2배 강도로 메시지를 전송하면 충분히 이웃 클러스터의 헤드노드까지 도달 할 수 있게 된다. 이는 헤드노드의 에너지 소비 뿐만 아니라 WSN 전체의 에너지 소

비 편차도 줄여 주는 효과가 있다.

3.4 클러스터 헤드 순환과 다이내믹 클러스터 재구축 단계

LEACH는 각 라운드마다 클러스터가 재구성되고 이 과정에서 상당한 에너지 소모가 있었다. 제안하는 프로토콜은 0 라운드에서 클러스터를 구성 한 후 일정 조건을 만족할 때까지 클러스터 재 구성없이 동일 클러스터 내에서 헤드노드만 재선정한다. 여기서 일정 조건이란 헤드노드에 들어오는 메시지의 양이 일정 임계치(본 논문에서는 임계치를 전체 헤드 수의 30% 이하로 설정)를 만족하는 경우를 말한다. 만약 일정조건을 만족하는 경우 싱크노드가 주체가 되어 클러스터 재구축 메시지를 전송한다.

헤드노드 재선정단계는 현재의 헤드노드가 주체가 되어 자신의 에너지가 임계값 이하로 떨어질 때 에너지 테이블의 정보를 이용해서 잔존 에너지가 가장 높은 노드를 다음 헤드노드로 선정한다. 이때 임계값은 WSN 수명이 다할 때까지 고정된 것이 아니라 다이내믹하게 네트워크의 변동사항을 반영해서 감소한다. 즉 헤드 재선정 메시지를 수신한 카운트 횟수가 전체 클러스터 멤버노드의 수와 같아진다면, 각 노드는 헤드 재선정 기준 에너지 임계치를 일정치 만큼 감소시킨다. 헤드노드 재선정을 위한 구체적인 절차는 아래와 같다.

- step 1: 현재 헤드 노드는 새로운 헤드노드를 선정한 후 헤드노드 재선정 메시지를 브로드캐스트한다. 이때 메시지에는 네트워크의 변동사항을 다이내믹하게 반영하기 위해 에너지 테이블과 연결도 테이블 등의 상태정보가 포함된다.
- step 2: 헤드 재선정 메시지를 수신 한 멤버 노드는 새로운 헤드를 등록하고, 자신의 정보를 갱신한 후 메시지를 브로드캐스트한다. 노드는 헤드를 목적으로 하는 연결 허락 메시지를 송신한다.
- step 3: 새로운 헤드노드는 멤버노드들이 보낸 연결허락 메시지를 수신한 후 자신의 정보를 갱신한다.
- step 4: 싱크노드는 수신되는 헤드 메시지의 수가 임계치 이하로 떨어진다면 클러스터 재구축 메시지를 브로드캐스트 한다.

step 5: 클러스터 재구축 메시지를 수신한 각 노드들은 클러스터 구성과 최적화 단계의 setp 1을 실행한다.

4. 실험 및 성능평가

본 장에서는 대표적인 계층형 프로토콜인 LEACH와 클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜(CBLM) 그리고 제안한 프로토콜을 비교 평가한다. 프로토콜에 대한 객관적인 비교는 에너지 소비 최소화를 통한 WSN 수명연장과 균등분포를 기준으로 삼는다.

4.1 에너지 소비 모델

각 프로토콜간의 에너지 소비를 비교하기위해 기존에 클러스터 기반 프로토콜에서 제안된 에너지 소비 모델을 이용하였다[17-18]. 이 모델에서 센서노드가 L 비트 메시지를 거리 d 까지 송신하기 위해 소비하는 에너지 소비량은 식(3)과 같고, 수신할 때 노드가 소비하는 에너지 소비량은 식(4)와 같다.

$$E_{TX}(L, d) = \begin{cases} LE_{elec} + Le_{fs}d^2, & d \leq d_0 \\ LE_{elec} + Le_{mp}d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (3)$$

$$E_{RX}(L) = LE_{elec} \quad (4)$$

- L : 데이터 패킷 길이(비트)
- E_{elec} : 송·수신회로 에너지 소모
- e_{fs} : 송신 시 증폭기 소비에너지(자유 경로)
- e_{mp} : 송신 시 증폭기 소비에너지(다중 경로)
- d : 노드 사이의 전송 거리
- d_0 : 전송거리 임계값
- $d^{Neighbor}$: 노드와 노드 간 전송거리

센서노드의 에너지 소비는 회로 자체 소비, 수신과 송신 에너지 소비로 나눌 수 있다. 회로자체 에너지 소비는 데이터 처리를 위해 소비하는 에너지를 의미하는데 소비량은 극히 작다. 그리고 수신 할 때 필요한 에너지 소비량 역시 매우 작다. 센서 노드의 에너지 소비는 대부분 송신 할 때 발생하며, 송신 에너지 소비는 전송거리에 비

레하여 증가한다. 위 수식 (3),(4)에서 보듯이 송신 에너지 소비는 전송 거리에 따라서 자유 경로와 다중 경로로 구분된다. 자유 경로에서는 전송거리(d)의 제곱에 비례해서 전력이 소비되고, 다중 경로에서는 전송거리의 네 제곱에 비례해서 전력이 소비된다. 자유 경로와 다중 경로의 구분은 전송거리 임계값(d_0)을 기준으로 결정된다.

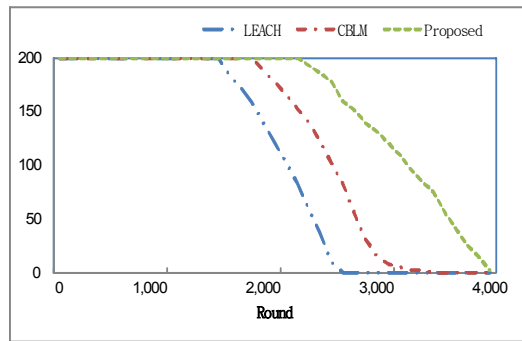
4.2 실험환경과 성능평가

성능비교를 위해 100m×100m 필드에 200개 노드를 분포시켰고, 한 개의 노드를 중심으로 4개의 노드가 밀집되어 있는 격자구조를 가정하였다. 표 1은 실험을 위해 설정된 매개변수 값이다. 각 프로토콜에서 한 라운드는 전체 센서노드 수가 200개인 경우 10초로 설정한다. 한 라운드 동안 각 프로토콜들은 네트워크 전체에 라우팅 정보와 클러스터 구성을 완료한 후, 헤드노드를 제외한 모든 멤버노드는 1개씩의 메시지를 싱크노드에게 전송한다. 이때 전송충돌비율은 20%로 설정하였다.

(Table 1) Simulation parameters

Parameter	Value
Network size	100 x 100
Nodes	200
Base station location	50, 50
Initial energy	1J
L	2,000 bit
E_{elec}	50nJ/bit
e_{fs}	10pJ/bit/m ²
$d^{Neighbor}$	50m
Collision ratio	20%

WSN에서 각 센서노드의 에너지 소비는 네트워크의 수명을 결정짓는 중요한 기준으로 프로토콜의 성능평가에서 필수요소이다. 그림 2는 세 개 프로토콜 간 에너지 소비를 비교하기 위해서 라운드가 반복됨에 따라 생존한 노드의 비율을 보여준다. x 축은 라운드 횟수를 나타내고 y 축은 생존한 노드의 숫자를 나타낸다. 일정 라운드를 넘어서면 수명을 다하는 노드의 숫자가 급속하게 증가함을 알 수 있다. 제안하는 프로토콜의 경우 LEACH나 클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜(CBLM)보다 WSN의 수명이 더 연장됐음을 알 수 있다.



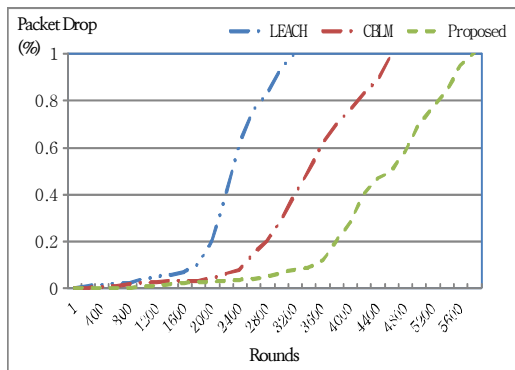
[Fig. 2] Variation of survival node numbers

그림 3은 라운드가 반복됨에 따라 전송지연율의 변화를 보여준다. x 축은 라운드 횟수를 나타내고 y 축은 전송지연율을 나타낸다. 전송지연율이 더 높아진다는 의미는 그만큼 수명을 다한 노드들이 많다는 의미이다. 전송지연율 역시 일정 시간이 지난 후에 급속하게 증가하는 패턴을 가진다. 만약 네트워크의 일부분에 클러스터가 집중된 밀집도 편중이 나타나거나 클러스터 사이의 불균등 분포가 있다면 전송지연율은 더 빨리 증가한다. 그림 3에서 보듯이 제안한 프로토콜의 전송지연율을 비교했을 때 성능이 개선되었음을 알 수 있다.

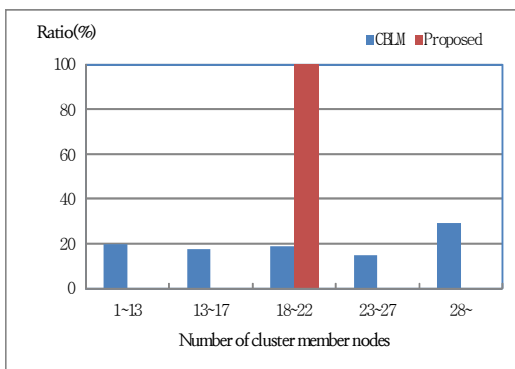
그림 2와 3과 같은 결과가 발생하는 원인은 크게 두 가지로 추정해 볼 수 있다. 먼저 LEACH와 CBLM은 클러스터 구성을 위한 데이터 전달 범주가 네트워크 전체 범위이고 제안하는 프로토콜은 노드 한 홉 단위 전송방법을 사용한다. 클러스터를 구성 한 후 클러스터 헤드가 싱크로 메시지를 전송하는 경우도 LEACH와 CBLM은 전송범위가 네트워크 전체 범주이다. 하지만 제안하는 프로토콜은 클러스터 헤드와 헤드 거리의 2배 범주면 충분히 여유가 있다. 이와 같은 전송범위가 가능한 이유는 데이터 수집 및 전송단계에서 설명한 바와 같다.

두 번째로 제안한 프로토콜은 균등분포를 보장함으로써 결과적으로 각 노드의 에너지 소비를 균형있게 함으로서 부하의 적절한 분산을 만족한 점이다. CBLM은 최적 클러스터 헤드 확률 모델(P_{opt})을 사용해서 각 노드의 에너지 소비를 균등하게 분산시킨다. 하지만 CBLM의 적절한 클러스터 헤드 수는 의미가 있지만 진정한 의미의 균등분포(load balancing)는 이루지 못했음을 실험을 통해 알 수 있다. 본 논문에서 지향한 진정한 균등분포란 각 클러스터 간 멤버노드 수의 균등분포와 네트워크

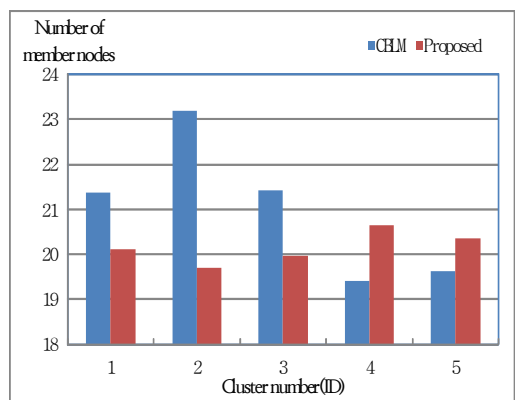
크 일부분에 클러스터가 집중되는 것을 방지한 클러스터 밀집도의 균등분포를 뜻한다. 그림 4와 5는 이와 같은 균등분포에 대한 실험 결과이다.



[Fig. 3] Variation of packet drop



[Fig. 4] Performance of load balance-distribution of cluster member nodes



[Fig. 5] Performance of load balance- number of each cluster member nodes

그림 4는 CBLM과 제안한 프로토콜의 클러스터 멤버 노드의 숫자분포를 보여준다. x 축은 각 클러스터의 멤버 노드 숫자를 나타내고 y 축은 분포비율을 나타낸다. 그림 4에서 제안하는 프로토콜은 각 클러스터 멤버노드 숫자가 모두 18~22개 사이에 100% 존재하지만 CBLM은 각 클러스터의 멤버노드 숫자 분포의 편차가 큼을 알 수 있다. 클러스터 멤버노드 수와 클러스터 밀집도의 균등분포는 그림 5에서 더 자세히 확인할 수 있다. 그림 5는 임의의 5개 클러스터를 추출했을 때, 각 클러스터의 멤버노드 숫자비교를 보여준다. x 축은 각 클러스터 ID를 나타내고 y 축은 멤버노드 숫자를 나타낸다. 제안하는 프로토콜은 CBLM에 비해서 멤버노드 수의 편차가 훨씬 적고, 네트워크 전체에 클러스터가 골고루 분포되어 있음을 알 수 있다. 이를 통해 얻을 수 있는 적절한 부하의 분산은 노드들 간의 에너지 균등 소비를 유발하고, 이는 네트워크의 생존기간을 연장시킬 수 있다.

5. 결론

본 논문은 WSN 수명최대화를 위해 노드 균등분포 (load balancing)와 클러스터 최적화 측면에서 에너지 소비를 최소화 할 수 있는 기법을 제시했다. 노드 균등분포 구현을 위한 아이디어는 노드 한 홉 단위 연결정보와 노드 에너지 정보를 저장하는 메모리 임계치를 이용했다. 이를 통해 각 클러스터의 멤버노드가 균등분포(load balancing)를 이룰 수 있음을 보였고, 네트워크 일부분에 클러스터가 집중되는 문제를 방지함으로써 클러스터 밀집도의 균등분포 역시 만족함을 보였다.

그리고 클러스터 최적화는 최적 클러스터 헤드 확률 모델[16]을 이용해서 헤드노드의 수를 최적화 함으로서 WSN 이 적절한 수의 클러스터로 분할 되도록 했다. 이를 처리하는 과정에서 다양하게 변하는 노드들의 정보 갱신과 메시지 전송을 최소 비용으로 처리할 수 있도록 보장했다.

제안하는 논문의 성능평가를 위해 가장 대표적인 계층형 프로토콜인 LEACH 그리고 클러스터 기반 지역 멀티 홉 라우팅 프로토콜(CBLM)과 비교 실험을 하였다. 그 결과 제안하는 프로토콜은 클러스터 멤버노드의 균등분포를 만족하면서 노드 에너지 소비를 줄여서 가장 긴 네트워크 수명을 보여줬다.

REFERENCES

- [1] David Culler, Deborah Estrin, and Mani Srivastava, Overview of Sensor Network, IEEE Computer Society, August 2004.
- [2] J. Yick, B. Mukherjee and D. Ghosal, Wireless Sensor Network Survey, Computer Network, Vol. 52, pp. 2292-2230, 2008.
- [3] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, and G. Sukhatme, Connecting the Physical World with Pervasive Network, IEEE Pervasive Computing, Vol. 1, No. 1, pp.59-69, 2002.
- [4] R. Min, M. Bhardwaj, S. Cho, E. Shih, A. Sinha, A. Wang, and A. Chandrakasan, Low Power Wireless Sensor Network, Proceeding of International Conference on VLSI Design, pp. 205-210, 2001.
- [5] A. E. Cerpa, J. Elson, M. Hamilton, and J. Zhao, Habitat Monitoring : Application Driver for Wireless Communication Technology, ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications, pp. 20-34, 2001.
- [6] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey, IEEE Wireless Communications, Vol. 11, No. 6, 2004.
- [7] Jamillbriq and Imad Mahgoub, Cluster Based Routing in Wireless Sensor Networks: Issues and Challenges, SPECTS, pp. 759-766, 2004.
- [8] R. Biradar, V. Patil, S. Sawant, and R. Mudholkar, Classification and Comparison of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks, UBICC Journal, Vol. 4, pp. 704-711, 2009.
- [9] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Micro sensor Networks, In Proceeding of the Hawaoo International Conference on System Science, Hawaii, 2000.
- [10] Kim Kyung-Tae, Youn Hee-Yong, An Energy Efficient Cluster-Based Local Multi-hop Routing Protocol for Wireless Sensor Networks, KIPS, Vol. 4, No. 127, pp. 495-504, 2009.
- [11] W. B. Heinzelman, A.Chandrakasan, and H.Balakrishnan, An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Micro-sensor Networks, IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, 2002.
- [12] K. T. Kim and H. Y. Youn, Optimized Clustering for Maximal Lifetime of Wireless Sensor Networks, pp. 52-57, 2005.
- [13] O. Younis and S. Fahmy, HEED: A Hybrid, Energy Efficient, Distributed Clustering Approach for Adhoc Sensor Network, Mobile Computing, Vol. 3, pp.366-379, 2004.
- [14] Kim Jin-Su, Hybrid Routing protocol for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks, SDPM, Vol. 10, No. 9, pp. 363-368, 2012.
- [15] R. S. Changn and C. J. Kuo, An Energy Efficient Routing Mechanism for Wireless Sensor Networks, Proceedings of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA06), Vol. 2, pp.308-312, 2006.
- [16] K. T. Kim, H. S. Kim, and H. Y. Youn, Optimized Clustering for Maximal Lifetime of Wireless Sensor Network, EUC2006, pp. 465-474, 2006.
- [17] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Micro Sensor Network, In Proceedings of the Hawaii International Conference on System Science, Hawaii, 2000.
- [18] M.E. Elhdhili, L.B. Azzouz, F.Kamoun, CASAN: Clustering Algorithm for Security in Ad hoc Networks, Elsevier Science, vol. 31, pp.2972-2980, Apr. 2008.

최해원(Choi, Hae Won)



- 1996년 2월 : 경일대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2000년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2009년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 컴퓨터공학과 교수

- 관심분야 : 바이오인포매틱스, 유비쿼터스 컴퓨팅
- E-Mail : happy9950@hotmail.com

김상진(Kim, Sang Jin)



- 1994년 2월 : 계명대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2000년 8월 : 경북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 1999년 9월 ~ 현재 : 경운대학교 컴퓨터공학과 교수

- 관심분야 : 알고리즘, 게임이론
- E-Mail : sjkim@ikw.ac.kr

피수영(Pi, Su Young)



- 1987년 2월 : 대구 카톨릭 대학교 전산통계학과(이학사)
- 1989년 2월 : 대구 카톨릭 대학교 전산통계학과(이학석사)
- 2000년 2월 : 대구 카톨릭 대학교 전산통계학과(이학박사)
- 2000년 7월 ~ 현재 : 대구 카톨릭 대학교 교양교육원 교수

- 관심분야 : 지능형 시스템, 퍼지 이론 및 응용
- E-Mail : sybj@cu.ac.kr

장주석(Chang, Chu Seock)



- 1982년 2월 : 영남대학교 전자공학과(공학사)
- 1984년 2월 : 영남대학교 전자공학과(공학석사)
- 1997년 2월 : 영남대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 모바일공학과 교수

- 관심분야 : 이미지 프로세싱, 소프트웨어 공학
- E-Mail : cschan@ikw.ac.kr