

센서 네트워크의 균등분포 클러스터 기반 멀티홉 라우팅

우 매 리[†]

Balanced Cluster-based Multi-hop Routing in Sensor Networks

Mary Wu[†]

ABSTRACT

Sensors have limited resources in sensor networks, so efficient use of energy is important. Representative clustering methods, LEACH, LEACHC, TEEN generally use direct transmission methods from cluster headers to the sink node to pass collected data. However, the communication distance of the sensor nodes at low cost and at low power is not long, it requires a data transfer through the multi-hop to transmit data to the sink node. In the existing cluster-based sensor network studies, cluster process and route selection process are performed separately in order to configure the routing path to the sink node. In this paper, in order to use the energy of the sensor nodes that have limited resources efficiently, a cluster-based multi-hop routing protocol which merges the clustering process and routing process is proposed. And the proposed method complements the problem of uneven cluster creation that may occur in probabilistic cluster methods and increases the energy efficiency of whole sensor nodes.

Key words: Multihop-routing, Balanced Cluster, Energy Efficiency, Minimize Control Message, Minimize Energy Inequality

1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 주위의 환경 데이터를 수집하여 다양한 용도로 응용이 가능한 기술로써 군사 지역이나 보안 지역에서의 침입 탐지, 온도와 습도 같은 환경 모니터링 등에 적용이 가능하다. 센서 노드들은 주변 상태를 측정하고, 측정된 데이터를 기지국에 전송하며, 기지국에서는 수집된 데이터를 분석한다. 이러한 무선 센서 네트워크에서 가장 큰 제약사항은 센서노드의 제한된 자원을 들 수 있으며, 이것을 극복하기 위해 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다[1-8].

일반적으로 인접한 센서 노드는 유사한 정보를 수

집하므로 유사 정보의 중복 전송으로 인한 에너지 낭비가 크다. 이러한 관점에서 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서 클러스터링 기법이 많이 연구되고 있다. 클러스터링 기법에서는 지역에 소속된 노드가 클러스터를 형성하고, 클러스터 헤더는 자신의 클러스터 멤버로부터 수집된 데이터를 집약한 후 전송하는 방법으로 유사한 정보의 중복전송을 줄이고, 전체 센서 네트워크는 저전력 네트워킹을 수행한다[1-7].

대표적인 클러스터 프로토콜로써 LEACH[1], LEACHC[2], TEEN[3]과 같은 프로토콜이 존재한다. 이와 같은 프로토콜은 기본적으로 LEACH에서 가정한 네트워크 환경을 기반으로 하고 있다. LEACH 클러스터 환경은 센서 네트워크내의 모든 센서 노드들은 멀리 떨어진 싱크노드와 직접 통신이 가능하며,

※ Corresponding Author: Mary Wu, Address: (712-720) Gyeongbuk, Gyeongsan-si, Jinryang-ub, Bonghwe-ri, 117 Youngnam Theological University and Seminary, TEL: +82-53-850-0580, FAX: +82-53-852-9815, E-mail: mary-wu@ytus.ac.kr

Receipt date: Feb. 1, 2016, Revision date: Apr. 11, 2016
Approval date: Apr. 12, 2016

[†] Dept. Of Computer Culture, Yongnam Theological University and Seminary, Korea

클러스터 헤더가 싱크노드로 데이터를 전송할 때 단일홉 전송을 사용한다고 가정한다[1-5]. 그러나 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 무선 센서 노드는 짧은 데이터 전송거리(POSI¹⁾)를 가지고, 제한된 에너지를 포함하므로 원거리의 싱크노드로 데이터를 전송하는데 한계점을 가진다. 따라서, 클러스터 헤더는 클러스터 멤버로부터 수집한 데이터를 싱크 노드로 전송하기 위해서 멀티홉 전송 방안이 요구된다.

TTDD(Two-tire Data Dissemination Model)[9]은 노드가 이벤트를 감지하면, 자신이 데이터 소스가 되어 격자를 구축하고, 싱크 노드는 가장 가까운 격자점에 자신의 정보를 등록하여, 격자중심 클러스터를 구성한 후, 싱크노드는 쿼리를 방송하여 격자 노드들은 싱크 노드로 라우팅 경로를 설정한다. 격자를 구성하기 위해 센서 노드들이 GPS를 탑재하거나 다른 위치 인식 기술을 필요로 하는데, 제한된 자원을 가지는 센서 노드가 GPS를 탑재하는 것은 에너지 사용 측면이나 비용면에서 비효율적이다.

[10]의 연구에서는 싱크 노드를 루트로 하여 각 클러스터 헤더로 향하는 트리기반 최단거리 라우팅 경로를 설정하기 위한 방법을 제안했다. 이 방법은 싱크노드로 데이터를 전송하기 위해서 싱크 노드를 루트로 하는 트리를 구성하여 최단거리 경로를 구성하지만, 각 노드의 레벨 결정을 위한 초기 플러딩 과정, 클러스터 구성, 경로설정과 게이트웨이 선정의 3단계의 과정을 필요로 하므로 클러스터 기반 라우팅 경로 설정을 위해서 많은 제어 오버헤드가 발생한다.

본 연구에서는 센서 네트워크의 제한된 자원을 효율적으로 사용하기 위해서 클러스터 구축과 싱크 노드로의 라우팅 경로 구축을 개별적으로 진행하지 않고, 클러스터 구축과 동시에 클러스터 헤더가 싱크 노드로의 라우팅 경로 테이블을 구축하는 방법을 제안한다. 또한 제안하는 방법은 기존의 대표적인 클러스터 프로토콜인 LEACH나 다른 클러스터 프로토콜이 클러스터를 구축할 때, 불균등한 클러스터 분포를 이루어서 일부 센서 노드가 빨리 에너지를 소모하는 문제점을 해결한다. 실험결과는 제안하는 클러스터 멀티홉 라우팅 프로토콜이 살아있는 노드 수, 노드의 에너지 균등 정도의 비교에서 기존의 방법에 비해서 월등히 향상된 성능을 보인다.

2. 관련 연구

대표적인 확률적 클러스터링 프로토콜인 LEACH [1]에서 클러스터 헤더는 멤버 노드로부터 수집한 센서 데이터를 싱크 노드로 직접 전송하는 단일홉 전송을 사용한다. 그러나 저비용, 저전력을 요구하는 센서 노드의 경우 통신거리가 그다지 길지 않으므로, 클러스터 헤더가 싱크 노드로 데이터를 전송하기 위해서 멀티홉을 통한 데이터 전송을 요구한다.

LEACH에서는 클러스터 헤더 선출을 위해서 센서 노드는 0과 1 사이에 임의의 수를 발생시키고, 그 값이 미리 결정된 확률값보다 작을 때 그 노드는 클러스터 헤더가 된다. 이러한 방식으로 선출된 클러스터 헤더가 센서 네트워크에 균형적으로 분포하지 않을 경우, 클러스터의 크기, 멤버수, 지역적 분포가 불균등하게 이루어지면, 선출된 클러스터 헤더 및 클러스터 멤버는 에너지를 불균등하게 소모하게 된다. 멤버가 많은 클러스터 헤더의 경우, 데이터 수집 및 데이터 전송에 많은 에너지를 소모하고, 클러스터 헤더와 거리가 먼 클러스터 멤버의 경우, 클러스터 헤더로 센싱 데이터를 전송하기 위해서 많은 에너지를 소모한다. 클러스터 헤더가 불균등하게 분포하는 것은 센서 노드의 제한된 에너지 자원을 비효율적으로 사용하게 하고, 일부 클러스터 헤더 및 멤버는 빨리 에너지가 고갈되는 결과를 초래한다. 클러스터가 센서 네트워크 전역에 균등하게 분포하는 것은 전체 센서 노드의 에너지사용을 균등하게 하고, 이것은 네트워크 전역에 센서 노드의 생명기간을 늘이는 요소가 된다.

TTDD(Two-tire Data Dissemination Model)[9]는 그리드 구성을 통한 클러스터 생성과 라우팅 경로 설정의 과정을 통해서 센싱 데이터가 싱크 노드로

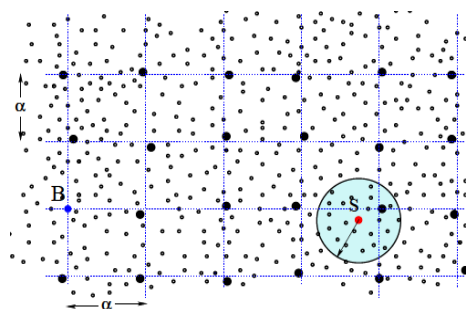


Fig. 1. TTDD Grid generation model.

1) IEEE 802.15.4는 POS(Personal Operating Space, 전방향 최대 10m)에 초점을 맞추고 있다

전송된다. 센서 노드가 변화를 감지하면, 데이터를 전송할 소스가 되어 자신의 위치를 그리드의 한 점으로 하여, 그리드 광고 메시지를 방송한다. 메시지에 포함된 그리드 지점에 포함된 센서 노드는 그리드의 점이 되고 다시 그리드 광고 메시지를 전송한다. 이 과정을 통해서 그리드를 구성한 후, 싱크 노드는 라우팅 경로를 구성하기 위해서 쿼리 메시지를 방송한다. 이 메시지는 가장 가까운 그리드 노드가 수신하여, 다른 그리드 노드에게 전달하고, 소스 그리드 노드로 전달되고, 이 과정을 통해서 라우팅 경로가 생성된다. 소스 노드가 센싱한 데이터는 생성된 경로를 통해서 싱크 노드에게 전달된다. 이 방식은 모든 센서 노드가 GPS 모듈을 탑재하거나 위치 인식 기술을 통해서 위치를 인식해야 하는데, 저가, 저전력의 초소형 센서에 GPS 모듈을 탑재하는 것은 실제의 환경에서 비용면에서 비효율적이다. 또한 그리드 구성과 라우팅 경로 구성을 위한 2단계의 과정을 거쳐서 싱크 노드로 데이터를 전달하며, 그리드 생명기간이 만료되면 이러한 과정을 반복수행하게 되는데, 이것은 센서 네트워크 전체에서 많은 양의 제어 메시지를 발생시킨다.

플러딩 레벨 클러스터 기반 계층적 라우팅 알고리즘[10]의 연구는 클러스터 환경에서 싱크 노드로 멀티 홉 데이터를 전송하기 위한 최단거리 경로에 대한 연구를 진행하였다. 싱크 노드를 루트로 하는 트리구조의 경로를 설정하기 위해서 싱크 노드는 쿼리 메시지를 방송한다. 싱크 노드로부터 신호를 직접 받은 노드들은 자신의 레벨을 1로 놓고, 이 메시지를 다시 방송한다. 이것을 받은 이웃 노드들은 자신의 레벨을 2로 정하고 다시 이웃 노드로 방송한다. 이와 같은 방법으로 노드들은 자신의 레벨을 결정하고, 데이터의 흐름 방향을 파악한다.

플러딩 레벨이 결정된 후, 확률적 방식에 의한 클러스터 선출과 클러스터 조인 과정이 진행된다. 클러스터 생성이 완료되면, 싱크 노드로 향한 데이터 전송 경로를 결정하기 위한 게이트웨이의 선택이 진행된다. 클러스터 헤드는 자신의 클러스터 멤버들 중에 자신보다 상위레벨을 가지는 노드에게 게이트웨이 요청 메시지를 보내고, 이 메시지를 받은 게이트웨이 후보 노드들은 클러스터 헤더에게 확인 메시지를 전송한다. 이것을 받은 클러스터 헤더는 후보 노드 중 하나를 선택하여 상위 게이트웨이 노드임을 알리는

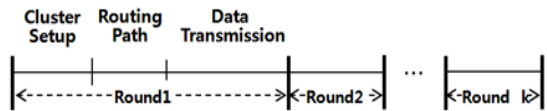
메시지를 전송한다. 클러스터 헤더에서 싱크 노드로 최단거리 경로를 설정하기 위해서, 플러딩 레벨 결정 과정, 클러스터 생성, 라우팅 경로를 위한 게이트웨이 결정의 3단계의 과정을 요구하고, 이것은 센서 네트워크 전체에 많은 제어 메시지를 발생시킨다.

3. 균등분포 클러스터 기반 멀티홉 라우팅 프로토콜

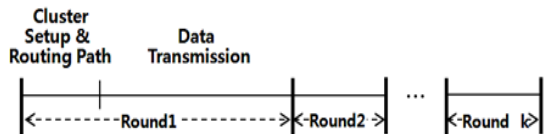
대표적인 확률적 클러스터링 프로토콜 LEACH를 기본으로 하는 클러스터링 프로토콜[1-5]들은 클러스터 헤더가 싱크로 데이터를 전송할 때, 단일홉 전송을 가정한다. 따라서, 센서 노드가 짧은 데이터 전송거리를 가지는 제약으로 싱크 노드로 직접 전송이 불가할 때, 멀티홉 전송을 위해서 추가적인 라우팅 경로 설정과정이 요구된다. 즉, 클러스터 생성과 라우팅 경로 설정의 두 단계의 과정을 거쳐서 클러스터 헤더는 싱크노드로 멀티홉 전송을 수행한다.

본 연구에서는 클러스터 생성과 경로설정 제어 메시지를 최소화하기 위하여, 클러스터를 구성과 데이터 전송 경로의 결정을 동시에 수행하여 노드의 제한된 에너지를 효율적으로 사용하는 클러스터 멀티홉 라우팅 방법을 제안한다. Fig. 2는 센서 네트워크에서 센서 노드의 전체 동작과정을 보여준다. Fig. 2(a)의 확률적 클러스터 프로토콜을 사용할 때, 한 라운드 내에서 클러스터 생성과정 이후, 라우팅 경로 설정과정 이루어지는 반면, Fig. 2(b)의 제안하는 방식의 클러스터링을 수행할 때, 클러스터 생성과 라우팅 경로 설정이 동시에 이루어지는 것을 보여준다.

또한 제안하는 방법은 대표적인 센서 클러스터 프로토콜인 LEACH에서 불균등한 클러스터 생성으로

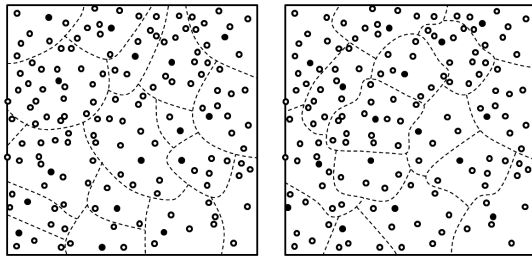


(a) Probabilistic clustering



(b) Balanced cluster-based multi-hop routing

Fig. 2. A whole procedure which includes clustering, routing, and data transmission.



(a) Probabilistic clustering (b) Proposed clustering

Fig. 3. Comparison of clusters balance.

발생하는 노드의 불균등 에너지 소모의 문제를 해결한다. Fig. 3(a)는 확률적 클러스터링을 이용한 클러스터 구성의 예로써, 클러스터 영역의 크기 및 멤버의 수가 불균등하게 이루어진 것을 보인다. 클러스터 멤버수가 많을수록 클러스터 헤더는 많은 데이터를 수신하고, 멤버로부터 수신한 데이터를 싱크노드로 전송할 때, 전송하는 데이터의 크기가 커진다. 이 경우에 클러스터 헤더의 역할을 담당하는 센서 노드는 제한된 에너지를 빨리 소모하고, 이것은 재 클러스터의 주기를 짧게 하는 요소가 된다. 또한 클러스터의 크기가 클 경우, 클러스터 헤더 노드로부터 먼 거리에 위치한 센서 노드는 클러스터 헤더로 데이터를 전송할 때 전송 에너지를 많이 소모하게 된다.

Fig. 3(b)는 제안한 클러스터링 방식으로 구성된 클러스터 구조로써 Fig. 3(a)의 확률적 방식에 비교해서 클러스터 영역 및 멤버수가 균등한 것을 보인다.

기존 확률적 방식의 클러스터 방식을 사용할 때, 멀티홉 전송을 위해서, 추가적인 라우팅 경로 설정의 과정이 요구된다. 다음은 확률적 클러스터 프로토콜을 사용하여 멀티홉 경로설정의 전체 알고리즘이다.

1. 클러스터 생성
 - ① 각 노드는 확률값을 발생하여, 자신이 클러스터 헤더가 될 것인지 결정
 - ② 발생한 확률값이 지정된 확률값보다 작으면 자신이 클러스터 헤더가 되어 클러스터 요청 메시지를 발송
 - ③ 클러스터 생성 메시지를 받은 노드는 신호세기를 비교하여, 가장 큰 신호세기의 메시지를 보낸 클러스터 헤더에게 조인 메시지를 전송
 - ④ 클러스터 헤더는 자신의 멤버에게 클러스터 ACK 메시지를 전송

2. 라우팅 경로 설정

- ① 싱크 노드는 쿼리 메시지 발송
- ② 원 홉 노드는 응답 메시지 전송
- ③ 싱크 노드는 초기 클러스터 헤더를 선정하고 Ack 메시지 전송
- ④ 초기 클러스터 헤더는 쿼리 메시지에 자신의 클러스터 ID를 추가하고, 레벨값을 1을 설정하여 발송
- ⑤ 쿼리 메시지를 받은 클러스터 헤더는 최소의 레벨값을 가진 메시지의 클러스터 ID를 경로로 설정, 자신의 클러스터 ID를 추가하고, 레벨값을 1증가하여 발송

제안하는 균등분포 클러스터 기반 멀티홉 라우팅 프로토콜은 클러스터 생성과 라우팅 경로설정 제어 메시지를 최소화하기 위해서 클러스터 생성과정에서 멀티홉 경로설정을 수행한다. 또한 제안하는 방식은 전송 거리에 의한 에너지 소모의 불균등을 최소화하기 위해서, 신호 세기를 기반으로 ‘주 영역’과 ‘선출 영역’을 나누어 클러스터를 생성한다. ‘주 영역’과 ‘선출 영역’의 구분은 센서 노드가 설정된 값 ‘신호세기 임계치’보다 높은 신호세기의 메시지를 받을 때, 자신이 ‘주 영역’에 있다고 간주하고, ‘신호세기 임계치’보다 낮은 신호세기의 메시지를 받을 때, 자신이 ‘선출 영역’에 있다고 간주한다.

클러스터 생성과 라우팅 경로 설정을 위해서, 먼저 초기 클러스터 헤더를 선출한다. 이것을 위해서, 싱크 노드는 센싱 쿼리 메시지를 발송하고, 센싱 쿼리 메시지를 받은 원 홉 노드들은 응답 메시지를 전송한다. 싱크 노드는 응답 메시지를 받은 노드 중에

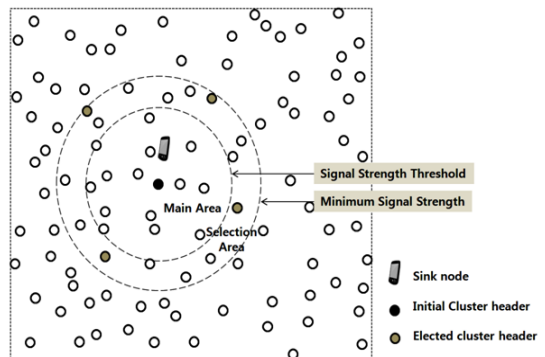


Fig 4. The main area and the selection area for the creation of clusters.

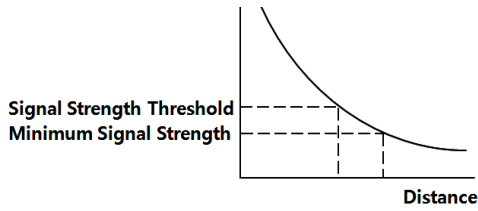


Fig. 5. The signal strength thresholds of query messages.

하나를 초기 클러스터 헤더를 선출하고, 선출된 초기 클러스터 헤더로 ACK 메시지를 전송한다. 이때, 설정한 값 ‘신호세기 임계치’를 포함하여 전송한다.

선출된 초기 클러스터 헤더는 라우팅 경로 설정을 위해서 받은 쿼리 메시지에 자신의 ID를 클러스터 헤더 리스트에 추가하고, 메시지를 다시 방송한다. 클러스터 헤더로부터 일정 거리 내에 있는 노드를 클러스터 멤버로 선출하기 위해서, 헤더로부터 쿼리 메시지를 받은 노드들 중에 ‘신호세기 임계치’ 보다 높은 신호를 받은 노드는 클러스터 ‘주 영역’에 있고, ‘신호세기 임계치’ 보다 낮은 신호를 받은 노드는 ‘선출 영역’에 있다고 간주한다. ‘주 영역’에 위치하는 노드는 Join 메시지를 전송하여 클러스터의 멤버가 되고, ‘선출 영역’에 위치하는 노드는 확률적 클러스터 헤더 선출 과정을 통해서 클러스터 헤더로 선출될 수 있다.

‘선출 영역’에 위치하는 노드가 클러스터 헤더 선출과정을 수행할 때, 서로 이웃하는 노드가 클러스터 헤더로 선출되는 것을 막기 위해서, 클러스터 헤더로 선출된 노드가 일정 신호세기 임계치 이상의 쿼리 메시지를 받으면, 클러스터 헤더의 역할을 포기한다. 이것은 ‘선출 영역’에서 선출된 클러스터 헤더들이 일정한 거리를 유지하여 선출되도록 한다.

다음은 제안하는 균등분포 클러스터 기반 멀티홉 라우팅 프로토콜의 전체 알고리즘이다.

1. 싱크 노드는 쿼리 메시지 방송
2. 원 홉 노드는 응답 메시지 전송
3. 싱크 노드는 초기 클러스터 헤더를 선정하고 ACK 메시지 전송, 메시지 안에 ‘주 영역’과 ‘선출 영역’을 확인하기 위한 ‘신호세기 임계치’값을 포함
4. 초기 클러스터 헤더는 쿼리 메시지에 자신의 클러스터 ID를 추가하고, 레벨값을 1을 설정하여 방송

5. 선출 영역에서 클러스터 헤더 선출과 멤버 가입

- ① 노드가 쿼리 메시지를 처음으로 수신하면 클러스터 타임아웃을 설정
- ② ‘신호세기 임계치’ 이상 신호를 수신하는 노드는 자신이 ‘주 영역’에 있다고 간주하고 Join 메시지를 전송하여 클러스터의 멤버가 되고, ‘신호세기 임계치’ 이하 신호를 수신하는 노드는 ‘선출 영역’에 있다고 간주하여 랜덤 클러스터 헤더 선출을 수행
- ③ 헤더로 선출된 노드는 랜덤 지연시간을 가진 후, 다른 쿼리 메시지를 받지 않으면, 자신의 클러스터 ID를 추가하고, 레벨값을 1 증가하여 쿼리 메시지를 방송하고, 이전에 받은 쿼리 메시지에서 클러스터 ID를 라우팅 경로로 지정 받으면, 헤더의 역할을 포기하고 Join 메시지를 전송한 후 해당 클러스터의 멤버가 됨
- ⑤ 클러스터 타임아웃 후, 두개 이상의 ‘신호세기 임계치’ 이하의 신호를 수신하는 노드는 신호세기에 기반하여 클러스터 Join 메시지를 전송하고 클러스터의 멤버가 됨

Fig. 6은 제안한 알고리즘을 적용하여 클러스터링과 라우팅 경로를 설정한 결과이다. 싱크 노드 가까이 위치한 초기 클러스터 헤더를 루트로 하여 클러스터 헤더들이 트리구조로 경로가 설정된 것을 보인다.

4. 실험 결과

제안한 방식의 에너지 사용의 효율성을 검증하기

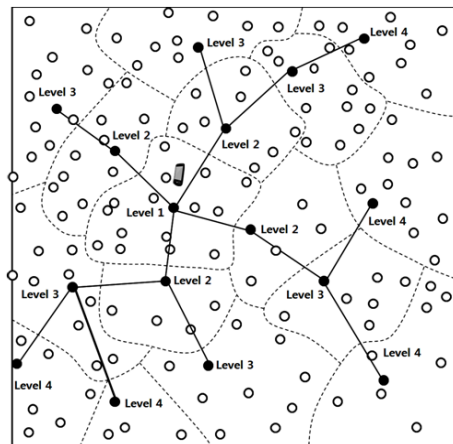


Fig. 6. The result of clustering and routing.

위해서 실험을 수행하였다. 비교 대상 프로토콜은 그리드 구조의 TTDD와 플러딩 레벨 클러스터 기반 계층적 라우팅 알고리즘을 사용하였다. 실험을 위해서 100m x 100m의 영역에서 150개의 노드가 임의의 위치에 배치되었다. 에너지 모델은 (1)[11-12]을 사용하고, 도구로써 C 프로그램을 사용하였다.

각 센서 노드가 가지는 초기 에너지 값은 0.5J 이며, 에너지 모델은 식(1)을 사용하였다. E_{Tx} 는 송신 에너지이고, 거리가 임계값 d_0 보다 가까울 때, 자유공간 모델(d^2 의 에너지 손실)을 사용하고, 거리가 임계값 d_0 보다 멀 때, 다중경로 모델(d^4 의 에너지 손실)을 사용한다. k 는 비트수, E_{elec} 은 전자 에너지, ϵ_{fs} (free space)와 ϵ_{mp} (multi-path)는 받아들일만한 신호대잡음비 SNR을 유지하기 위한 증폭 에너지이다. d 는 전송거리이고, d_0 는 $\sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}}$ 로 계산된다. E_{Rx} 는 수

신 에너지이다.

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} k * E_{elec} + k * \epsilon_{fs} * d^2 & (d < d_0) \\ k * E_{elec} + k * \epsilon_{mp} * d^4 & (d \geq d_0) \end{cases} \quad (1)$$

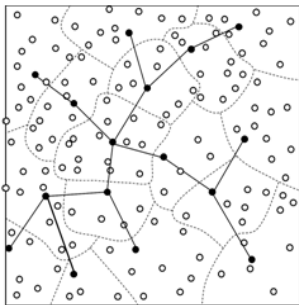
$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k$$

전파 모델에 사용될 E_{elec} 과 ϵ_{fs} 는 각각 50×10^{-9} , 10×10^{-12} 을 사용하였다. 또한 데이터 전송에 사용되는 데이터의 패킷 사이즈는 512 bit, 클러스터링 확률은 0.2, 그리고 센서의 전송 가능 거리는 30m, 주 영역 전송거리는 20m로 정의하였다. Table 1은 실험 환경 요소를 나타낸다.

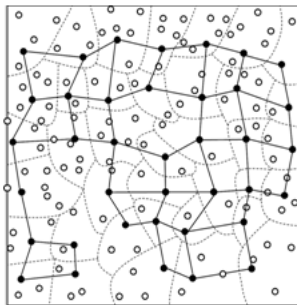
Fig. 7은 위의 세 가지 프로토콜에 의해 클러스터링과 라우팅 경로가 설정된 예를 보인다. Fig. 7(b)의 TTDD는 그리드를 구성하기 위해서 다른 클러스터링 방식에 비해서 많은 그리드 노드가 요구되고, Fig. 7(c)의 플러딩 레벨 클러스터링 알고리즘은 게이트

Table 1. Experimental factors

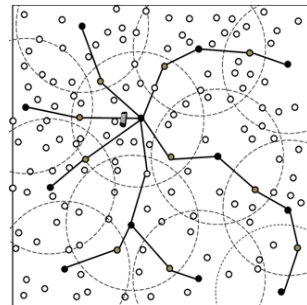
Experimental factors	Explanation	Value
The initial energy of sensors		0.5J
k	The number of bits	512
d_0	$\sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}}$	87m
E_{elec}	Electron energy	50 nJ/bit
ϵ_{fs}	Free space amplification energy	10 pj/bit/m ²
ϵ_{mp}	Multipath amplification energy	0.013 pj/bit/m ⁴
p	Clustering probability	0.12
The transmission distance of sensors		30m
The radius of main area		20m



(a) Proposed protocol



(b) TTDD



(c) Flooding level cluster-based hierarchical routing algorithm

Fig. 7. The examples of clustering and routing.

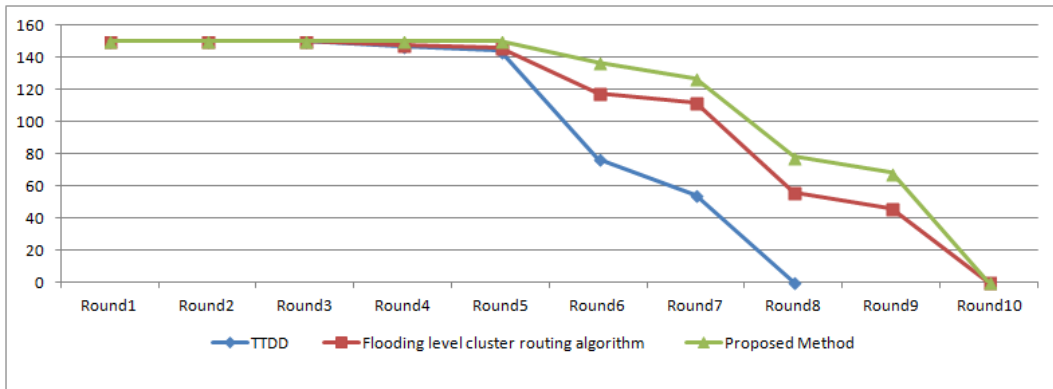


Fig. 8. The number of remaining nodes based on the increase of round.

웨이 노드가 경로상에 존재하여, 싱크로의 라우팅 경로가 복잡하게 연결된 것을 보인다.

TTDD는 라운드의 시작에서 격자 노드를 구성하는 과정, 일반 노드들이 선출된 격자 노드에 자신을 등록하는 과정, 싱크 노드를 기준으로 라우팅 경로를 설정하는 과정에서 제어 메시지가 발생된다. 플루딩 레벨 기반 계층적 라우팅은 싱크 노드로부터 홉 레벨을 인식하기 위한 플루딩 메시지 전송 과정, 클러스터를 구성하기 위한 클러스터 구성 과정, 싱크로 경로를 설정하기 위한 게이트웨이 선정 과정에서 제어 메시지가 발생된다. 제안하는 균등분포 클러스터 기반 멀티홉 라우팅 프로토콜은 클러스터 생성과 라우팅 경로 설정을 위한 과정이 하나의 메시지 발송으로 이루어진다. Fig. 8은 메시지 전송과정에서 라운드의 증가에 따라 살아있는 노드수를 보여준다. 제안하는 방식은 라운드 5까지 모든 노드가 살아있고, 이 이후의 라운드에서도 다른 방식에 비해서 좋은 성능을

보인다.

Fig. 9는 3가지 방식 모두 모든 노드가 살아있는 라운드 4까지의 과정에서 노드가 사용하는 에너지 양의 편차를 보여준다. 제안하는 방식이 사용하는 에너지 편차가 제일 작은 것을 보여준다. 에너지 편차가 작은 것은 노드가 사용하는 에너지 양의 불균등한 정도가 가장 작다는 것을 나타낸다.

5. 결 론

본 연구에서는 클러스터 센서 네트워크에서 멀티홉 라우팅 경로를 지정할 때, 효율적인 에너지를 사용하는 네트워크 구조와 절차를 제공하기 위한 연구를 수행하였다. 대표적인 클러스터 라우팅 프로토콜 LEACH에서 발생할 수 있는 불균등 클러스터 구조에 대한 문제점을 보완하고, 기존 클러스터 라우팅 경로를 설정할 때, 발생하는 제어메시지를 최소화함으로써 센서 노드의 제한된 자원을 효율적으로 사용하는데 중요성을 두고 연구를 진행하였다.

실험 결과는 제안한 균등분포 클러스터 기반 멀티홉 라우팅 프로토콜이 기존 멀티홉 프로토콜과의 비교에서 라운드의 진행에 따라 에너지를 더 작게 사용하고, 노드의 에너지 사용도가 균등하게 이루어지는 것을 보여준다. 제안하는 방식은 클러스터 환경에서 멀티홉 라우팅 경로를 구성하기 위해서 실제의 환경에서 쉽게 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 향후 연구로는 좀 더 다양한 환경에서 실험을 통한 효율성을 검증하고, 최적의 '신호세기 임계치'를 위한 실험을 진행할 계획이다.

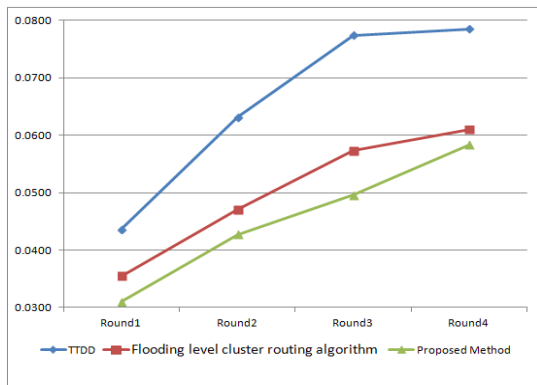


Fig. 9. The deviation of remaining energy.

REFERENCE

[1] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proceeding of The Hawaii International Conference on System Science*, pp. 1-10, 2000.

[2] W.R. Heinzelman, *Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks*, Doctor's Thesis of Massachusetts Institute of Technology, 2000.

[3] A. Manjeshwar and D.P. Agrawal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Proceeding of The 15th Parallel and Distributed Processing Symposium*, pp. 2009-2015, 2000.

[4] Z. Liua, Q. Zhenga, L. Xuea, and X. Guan, "A Distributed Energy-efficient Clustering Algorithm with Improved Coverage in Wireless Sensor Networks," *Journal of Future Generation Computer Systems*, Vol. 28, Issue 5, pp. 780-790, 2012.

[5] Y. Liao, H. Qi, and W. Li, "Load-Balanced Clustering Algorithm With Distributed Self-Organization for Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 13, Issue 5, pp. 1498-1506, 2013.

[6] J. Yua, Y. Qia, G. Wangb, and X. Gu, "A Cluster-based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks with Nonuniform Node Distribution," *Proceeding of International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 66, Issue 1, pp. 54-61, 2012.

[7] D. Karaboga, S. Okdem, and C. Ozturk, "Cluster Based Wireless Sensor Network Routing Using Artificial Bee Colony Algorithm," *Journal of Wireless Networks*, Vol. 18, Issue 7, pp. 847-860, 2012.

[8] L. Lee, E. Lee, "Limited Flooding Scheme in Mobile Sensor Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, v.18, n.10 , pp. 1225-1230, 2015. 10.

[9] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large scale Wireless Sensor Network," *Proceeding of the ACM Annual Conference of Mobile Computing and Networking*, pp. 148-159, 2002.

[10] S.H. Hong, B.K. Kim, and D.S. Eom, "Flooding Level Cluster-based Hierarchical Routing Algorithm For Improving Performance in Multi-Hop Wireless Sensor Networks," *Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 33, No. 3, pp. 123-134, 2008.

[11] M. Wu, H.J. Park, and C.G. Kim, "Multihop Routing Based on the Topology Matrix in Cluster Sensor Networks," *Journal of The Institute of Signal Processing and Systems*, Vol. 14, No. 1, pp. 45-50, 2013.

[12] M. Wu, H.J. Park, Y.R. Kim, H. Zin, and C.G. Kim, "A Cluster Topology for Covering Balanced Area in Sensor Networks," *Proceeding of KSII The 10th Asia Pacific International Conference on Information Science and Technology*, pp. 203-206, 2015.



우 매 리

1996년 영남대학교 수학과 이학사
 2001년 영남대학교 컴퓨터공학과
 공학석사
 2005년 영남대학교 컴퓨터공학과
 공학박사
 2005년 영남대학교 컴퓨터공학과
 강의를수

현재 영남신학대학교 컴퓨터교양 조교수
 관심분야 : 소셜 네트워크, 네트워크 보안, 무선 네트워크, 센서 네트워크, 빅데이터, IOT