Journal of Korea Multimedia Society Vol. 20, No. 11, November 2017(pp. 1776-1784)
https://doi.org/10.9717/kmms.2017.20.11.1776

무선 센서 네트워크에서 가상 이종성 제공

배 시 규†

Virtual Heterogeneity Provision for Wireless Sensor Networks

Shi-Kyu Bae†

ABSTRACT

There are two types of WSN(wireless sensor networks) in terms of sensor node's capability, that is, homogeneous or heterogeneous WSN. Even though the latter has better performance than the former, it requires some overhead for deploying nodes or clustering the network. In this paper, we propose a new scheme, called VHS(Virtual Heterogenous Sensor-Network), which uses a homogeneous WSN regarding energy in a heterogeneous way. The proposed scheme's performance has been evaluated and compared with other homogeneous schemes by simulation. The results are shown to be better than the other existing homogeneous schemes used in a sample sensor network application.

Key words: Clustering, Wireless Sensor Network, Homogeneity, Heterogeneity, Node Lifetime, Energy Consumption

1. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN : Wireless Sensor Networks)의 연구는 여러 분야에서 다양하게 이루어져 오고 있으며, 무선 센서 네트워크의 형태는 다음과 같이 여러 가지로 구분된다. WSN을 구성하는 센서 노드들이 고정되어 있는 형태를 고정식(static)이라고 하고, 센서 노드들이 이동할 수 있으면 동적(dynamic), 또는 이동식(mobile) 네트워크라고 구분한다. 일반적으로 동적 WSN은 토폴로지가 자주 변화하며 이동하는데 전력이 소모되므로 상대적으로 고정식보다 비용이 높다. 그러나 각 노드가 이동이 가능하므로 네트워크를 재배치하거나 재구성할 수 있는 장점이 있다[1]. 이 두 방식을 절충하여, 기본적으로 고정식으로 구성하되, 전체가 아닌 일부 센서 노드만 이동 기능을 부여하는 방식이 사용[2]되기도 한다. 이를 혼합형(hybrid) 혹은 반고정식이라고 부르기로 한다. 혼합형 WSN에서 일부 이동 가능한 노드를 적절히 이동시켜 어떤 지역이 감지되지 않는 영역, 즉 Coverage Hole을 해결하는 연구가 많이 진행되어 왔다[3]. 이동 노드를 사용하여 네트워크의 성능을 개선시키려는 노력도 꾸준히 이루어져 왔는데, 고정 노드의 전력 소모를 감소시켜 네트워크의 수명을 연장시키거나 데이터의 전송 지연을 감소시키는 연구들이 있다[4].

센서 네트워크를 구성하는 센서 노드는 센싱, 통신, 컴퓨팅 기능을 가지며, 센싱 형태에 따라 이미지, 소리, 온도 센서 등이 존재한다. 다양한 형태의 멀티미디어 데이터를 인지하고 전송하기 위한 멀티미디어 센서 네트워크에서는 네트워크를 구성하는 모든 센서가 동일하면 동종성(Homogeneous), 그리고 센서의 종류가 다르면 이종성((Heterogeneous) 네트워크로 구분한다[5].

WSN은 에너지의 제한이 중요한 요소이므로, 많

※ Corresponding Author : Shi-Kyu Bae, Address: (750-711) Dongyangdae-ro 145, Pung-Gi, Youngju, Gyoung Buk, Korea, TEL : +82-54-630-1071 FAX : +82-54-636-8523, E-mail : skbae@dyu.ac.kr

Receipt date : Jul., 17, 2017, Revision date : Oct., 31, 2017
Approval date : Nov., 3, 2017
Dept. of Computer Eng., DongYang University

은 연구들이 에너지 측면에서 이루어지고 있으며, 특히 센싱 기술에 대한 연구와 별도로 노드의 전송 능력 관점에서 각 노드의 에너지 잔량에 따라 기능이나 역할을 다르게 하여 결과적으로 전력 소모를 줄이고 네트워크의 수명을 늘리는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 연구들에서는 이종성을 에너지량이 다른 노드로 또는 구체적으로 에너지 이종성으로 정의하고 있다[6-9].

본 논문에서 동종 및 이종 WSN을 구분하는 기준은 구성하는 센서 노드들의 통신 및 컴퓨팅 성능은 동일하되 에너지 량이 균일한 지 여부로 정의한다. 동종 WSN은 모든 노드가 동일한 성능을 가지므로 노드 간의 역할 분담이 간단하고 언제든지 역할을 교체될 수 있으므로 배치나 운영 방식이 간단하다. 예들 들어, 비행기를 사용하여 임의로 또는 일정한 전략에 의해 노드를 배치할 수 있다[10]. 이종 WSN은 감지 기능이 다른 노드(예, 비디오 센서, 오디오 센서, 연기 감지 센서 등)가 아니라, 같은 통신 및 컴퓨팅 성능을 갖지만 전력면에서 다른 보유 전력을 가진 노드가 섞여 있는 네트워크로 한정해서 고려한다. 이런 형태의 WSN에서는 보유 전력에 따라 노드의 기능이나 역할(예, 클러스터 헤드 또는 멤버)을 달리해 네트워크의 에너지 효율이나 수명을 연장할 수 있으나[11], 노드 배치 방법이나 노드별 동작 설정이 복잡해진다. 이종 WSN에 적합한 라우팅 프로토콜[9] 등이 그 예이다.

본 논문은 클러스터 구조의 동종 WSN에서 클러스터 헤드 노드의 역할을 추가/변경하여 마치 이종 WSN처럼 동작하도록 하여 네트워크 수명을 연장하는 가상 이종 WSN 기능에 관한 것이다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 동종 및 이종 WSN의 특성을 살펴보고, 동종 WSN에서 클러스터 생성과 유지에서 발생하는 클러스터 헤드 노드의 수명 단축과 해결 방안에 대하여 알아본다. 3장에서는 본 논문에서 클러스터 헤드 노드의 역할을 추가/변경하여 네트워크 수명을 연장하는 방안을 제안한다. 4장에서는 실험을 통해서 제안 방안의 성능을 분석하고 기존의 방안과 비교한다. 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

2. 관련 연구

2.1 동종 및 이종 WSN에서의 클러스터링(clustering)

동종 WSN은 모든 노드가 동일한 성능을 가지므로 노드 간의 역할 분담이 간단하고 운영 방식이 간단하다. 반면에, 이종 WSN은 노드의 성능이 서로 달라 네트워크 내에서 노드의 역할을 설정할 때 성능을 고려하여 다르게 설정하므로 동종 WSN보다 다소 복잡하지만 최적의 성능을 구현할 수 있다. 이종 WSN에 적합한 라우팅 프로토콜[9] 등이 그 예이다. 계층 구조를 갖는 네트워크가 비계층구조의 네트워크보다 확장성이 우수함이 알려져 있다[12]. 계층 구조의 장점으로는 확장성외에 부하 경감, 견고성 개선, 충돌 감소, 지연 감소 등이 있다[13]. 동적인 네트워크에서 확장성, 부하, 견고성, 전력 소모 등의 효율성을 위해 클러스터 구조기반의 라우팅 프로토콜이 개발되어 왔다[14].

동종 WSN에서의 클러스터링은 모든 노드가 동일한 전력을 가지고 있다는 가정 하에서 이루어지므로[15] 상대적으로 이종 WSN에서의 클러스터링보다 간단하다. 이와 달리, 이종 WSN에서는 각 노드의 전력이 다르므로 노드간 링크의 비대칭성을 고려해야 한다. 노드의 전력을 고려하여 고전력 노드와 저전력 노드 그룹으로 구성된 이종 WSN를 생각할 수 있다. 고전력 노드는 전송 범위를 더 넓게 사용할 수 있으므로 두 노드간의 연결성이 서로 다르다. 예를 들면, 두 노드 A,B가 있을 때, A 노드가 B 노드로 연결할 수 있지만, B 노드는 전송 범위가 작아 A 노드로 연결할 수 없는 경우가 있다. 그러므로 이종 WSN에서 기존의 동종 WSN 클러스터링 기법을 사용할 수 없어 [9]과 같은 이종 WSN 클러스터링 방안이 제안되고 있다.

3. 제안 방안

클러스터 구조에서는 클러스터 헤드(CH : Cluster Head)와 클러스터 멤버(CM : Cluster Member)의 노드 역할이 구분된다. 동종 WSN에서는 CH가 임의로 지정되거나 특별한 기준에 의해 지정이 된다. 하지만, 이종 WSN에서는 초기 전력에 따라 미리 CH가 결정이 되며, 일반적으로 동종 WSN도 시간이 지나면 각 노드에서 에너지 소모가 달라지면 이종성이 나타나기도 한다[12].

일반적으로 CH의 업무가 CM보다 많고 데이터 전송량이 많아 전력 소모가 더 크므로, 동종 WSN에서

는 네트워크 전체의 수명을 연장하기 위하여 주기적으로 혹은 수시로 클러스터를 새로 구성하여야 한다. 반면에 이종의 네트워크에서는 전력이 상대적으로 많은 노드를 CH로 결정하는 클러스터를 구성하면, 네트워크 수명 연장을 위한 재클러스터링(reclustering)이 불필요하거나 동종 네트워크에 비해 재클러스터링의 회수가 줄어든다. 클러스터를 제어하는 방식에 따라 중앙집중형, 분산형으로 구분할 수 있다. 중앙집중형은 네트워크 전체 정보가 필요하므로 네트워크 전체의 클러스터를 형성하는데 상당한 부담이 든다. 반면에 분산형은 네트워크 전체 정보가 필요하지 않아 부분적으로 클러스터를 재형성시킬 수 있어 전체 클러스터링보다 부담이 적지만, 클러스터 형성이 중복되거나 최적의 클러스터가 생성되지 않을 수도 있다.

본 논문에서는 동종 WSN에서 에너지 소모에 따라 노드별로 에너지 고갈의 위험성이 발생했을 때 전체 클러스터를 재형성하지 않고 인근 노드의 협조로 부분 클러스터를 계속 유지하기 위한 방안을 제안한다. 이렇게 함으로써 네트워크 수명을 더 연장시킬 수 있다.

3.1 동작 모델

본 논문에서 사용할 네트워크 동작 모델을 설명하기 전에 먼저 널리 사용하는 동종 및 이종 WSN 모델에 대하여 Fig. 1에 설명한다. 그림의 왼쪽은 동종의 노드로 구성된 네트워크로 CH 선정 기준에 의하여 특정한 노드가 CH가 되고 이 노드를 중심으로 CM들로 클러스터가 형성되는 예이다(동종 WSN). 그림에서 노드의 원의 크기로 보유 전력량을 표시했으며, 새로운 CH는 주기적으로 또는 특정한 조건에 의해서 다른 CM중에 하나로 재선정이 되어 이 노드를 중심으로 또는 다른 CH을 중심으로 CM들이 새로운 클러스터 관계를 유지하는 방식이 사용된다. 반면에 그림의 오른쪽에 있는 네트워크는 많은 전력을 갖는 노드가 이미 존재하여(그림에서 큰 원으로 표시함) CH 역할을 담당하고 나머지 노드는 CH를 중심으로 CM으로 동작을 하며, 새로운 CH를 재선정하기 위한 클러스터링이 필요 없이 현재의 클러스터가 계속 유지되는 방식으로, 본 논문에서 이종 WSN으로 정의한다.

Fig. 2는 본 논문에서 제안하는 방식의 동작 모델을 나타낸다. 노드가 배치되는 초기에 Fig. 1 왼쪽의 동종 WSN과 마찬가지로 클러스터링에 의해 CH와 CM 관계가 형성되었다. 시간이 지남에 따라 각 노드에서 전력 소모가 발생하며 그 중 CH는 다른 CM보다 전력 소모가 심하여 전력 고갈의 위험에 처해진다. 이 때, 동종 WSN에서 기존의 방안들은 새로운 CH를 선정하기 위한 클러스터링을 다시 실시함으로써 네트워크 전체의 수명을 연장하려고 한다.

이와 달리, 본 논문에서 제안하는 방식은 새로운 CH 선정을 위한 재클러스터링을 시도하지 않고, CH를 보조할 노드를 CM 중에 선정하고 동작시킴으로써 CH의 전력 소모를 절약하여 마치 현재의 CH와 보조하는 CM이 연합하여 많은 전력을 가진 CH 노드의 역할을 하도록 하는 것이다. 이것을 본 논문에서 가상 이종 노드 또는 가상 CH로 부르기로 한다.

즉, CH가 CM보다 에너지 소모량이 크므로 시간이 지날수록 에너지 잔량이 급격히 줄어들어 고갈 위기에 처할 수 있으며, 이런 CH가 소멸하면 전체 네트워크의 동작에 문제가 발생한다. 기존의 방안에서는 잔존 에너지가 적은 현재의 CH를 대신하여 다른 CH를 선정하기 위해 모든 노드를 대상으로 클러

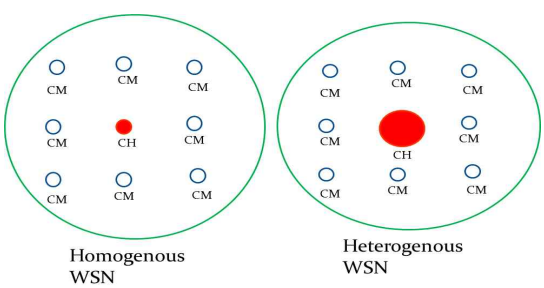

Fig. 1. Working models of Homogeneous and Heterogenous WSN.

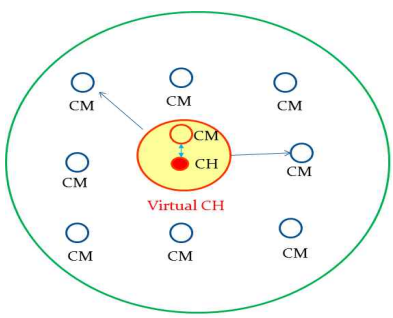

Fig. 2. Working Model for the proposed scheme.

스터링을 다시 함으로써, 노드간의 많은 데이터 전송으로 인한 전력 소모가 발생한다. 네트워크 전체가 아닌 일부 구간에서의 재클러스터링하는 방안이 있으나 역시 이에 따른 데이터 전송으로 인한 전력 소모 부담이 있다. 그 뿐만 아니라 재클러스터링을 진행하는 동안 네트워크 본연의 기능이 중지되는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 부분적인 재클러스터링 대신에 현재 클러스터에 속한 CM중에 하나가 CH를 도와 클러스터를 더 오래 유지하며, 더 이상 현재의 클러스터를 유지할 수 없을 때에만 전체 네트워크 클러스터링을 재수행함으로써 잦은 재클러스터링으로 인한 에너지 낭비를 줄이고 네트워크 수명을 연장하기 위한 방안을 제안한다.

일반적인 클러스터에서의 노드의 기능은 CH와 CM의 두 가지로 구분된다. 하지만 제안된 방안에서는 노드의 기능이 더 세분화되어 다음과 같이 역할이 구분된다.

1) *CH - Head 모드*

기존의 방식에서 일반적인 CH 기능과 동일하다.

2) *CH - Mandator 모드*

CH가 전력 부족으로 독립적인 CH 역할을 하지 못하고, CM중 한 노드에게 일부 역할(CM로의 전송 기능)을 위임하는 기능이다. 노드의 전력 소모의 대부분은 전송 시에 발생하므로, 전송 기능을 위임함으로써 CH의 전력 소모를 절약한다. '*CH - Mandator 모드*'에서 동작하는 CH를 간단히 위임자로 부르기로 한다.

3) *CM - Member 모드*

기존의 방식에서 일반적인 CM 기능과 동일하다.

4) *CM - Delegator 모드*

전력이 부족한 CH(위임자)로부터 CH의 일부 역할을 위임받아 CM에서 대신 전송하는 역할을 한다. '*CM - Delegator 모드*'에서 동작하는 CM을 간단히 대리자로 부르기로 한다.

Fig. 2에서 예를 들면, 'CH'는 처음에 '*CH-Head* 모드'로 동작을 하다가 전력이 부족하면 'CM' 중에 하나를 대리자로 선정하고 '*CH-Mandator 모드*'로 전환한다. 그림에서 붉게 표시된 CM은 처음에 '*CM-Member 모드*'로 동작하다가 CH로부터 대리자로 선정되면 '*CM-Delegator 모드*'로 전환한다. 자세한 동작은 다음 절에서 설명한다.

3.2 제안 알고리즘

제안하는 알고리즘의 동작을 상세히 설명하면 다음과 같다.

3.2.1 클러스터링

우선 클러스터를 형성하는 과정이 Fig. 3에 나타낸 알고리즘에 의해 이루어진다. 트리 구성은 루트 노드에서 탐지 패킷(discovery-level packet)을 방송함으로써 시작하여 모든 노드가 최대 1회탐지 패킷을 방송하는 과정에서 루트 노드로부터 단계별로 레벨이 결정된다(line 1,2). 이 때 하위 레벨의 부모 노드

```
01 if (root node)
02   Broadcast a discovery-level packet (node-id, level#)
03 For all nodes except root node {
04  if (packet received && firstly received) {
05    Set level=parent node's level+ 1;
06    if(node's residual power > threshold) {
07       Distance = measure distance between parent node and node itself;
08        Wait (k*Radius/distance) seconds; // Radius:radius of broadcast range
09        Broadcast additional discovery-level packet
10       // which notifies the parent of child's info. as well;
11   }
12  }
13 }
```

Fig. 3 Clustering Algorithm.

가 되기 위해서는 노드의 잔여 전력을 고려한다. 루트 노드를 제외한 다른 노드들은 부모노드와의 거리에 반비례하여, 즉 가까운 노드에게 먼저 탐지 패킷을 방송할 기회를 주는데(line 9), 만일, 잔여 전력이 기준이하인 노드는 탐지 패킷 방송을 하지 않도록 제외시켜(line 6) 다음 레벨의 부모 노드로 참여하지 않도록 하고 대신 인근의 다른 노드에게 부모 노드가 될 기회를 넘겨준다(line 06).

Fig. 4는 본 클러스터링 알고리즘을 사용하여 생성된 트리의 예이며, 그림에서 파란색 노드와 빨간색 노드가 잔여 전력이 충분할 때는 부모 노드와의 거리에 따라 다음 부모가 되기 위한 경쟁을 하여, 파란색 노드가 결정이 된다. 만일, 파란색 노드가 잔여 전력이 부족하다면 부모 노드의 역할을 포기하고 빨간 노드에게 다음 부모 노드가 될 기회를 준다. 이렇게 하면 재클러스터링을 할 때마다 노드의 전력 상태에 따라 다른 트리가 형성이 된다.

Fig. 4의 트리를 보면, 루트 노드를 포함한 각 부모 노드는 자식 노드의 정보를 가지게 되며(line 9), 말단에 있는 노드(leaf nodes)는 더 이상 하위 레벨 노드로부터 통지를 받지 않으므로 부모 노드가 되지 않는다.

3.2.2 재클러스터링 결정

현재 클러스터가 만들어져있고 동작 중에 하나의 CH의 잔여 전력이 문턱값(threshold)이하로 떨어졌을 때 이 재클러스터링 알고리즘이 동작한다. 이 알고리즘은 실제 동작하는 센서 네트워크 응용에 따라 두 가지 형태로 구현할 수 있다.

① 응용 Type-1 : CH와 CM간에 정기적이거나 빈번한 데이터 교환이 있는 응용
(예, 온도 검출, 목표 감시)

② 응용 Type-2 : CH와 CM간에 데이터 교환이 비정기적이거나 빈번하지 않은 응용
(예, 목표 추적, 화재/지진 경보)

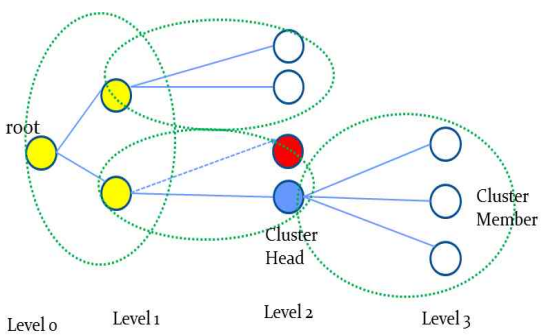

Fig. 4 A tree after Clustering.

응용 Type-1의 경우에는 CM이 CH로 데이터 전송과정에 잔여 전력 정보를 제공함으로써 CH가 CM들의 잔여 전력 상태를 항상 파악하고 있으므로 대리자를 즉시 결정할 수 있다. 이에 반해, 응용 Type-2의 경우에는 CM으로부터 수집되는 잔여 전력 정보가 부정확하므로 CH가 별도로 CM들의 잔여 전력을 파악하여 대리자를 결정하는 과정이 필요하다.

다음은 CH가 대리자를 결정하여 일부 역할을 부여하는 과정을 나타낸다. 처음 클러스터링이 이루어진 상태에서는 CH는 *'CH-Head 모드'*, 다른 CM은 *'CM-Member 모드'*로 동작하도록 초기화되어 있다.

1) CH는 CM들에게 잔여 전력이 부족함을 알리고 (*'HELP'* 메시지), CM으로부터 잔여 전력량을 수집한다. 이하 과정은 응용 Type-2에서만 필요하고, 응용 Type-1에서는 불필요하다.

2) CH로부터의 거리와 잔여 전력량을 고려하여 한 CM을 대리자로 결정하고, 통보한다.

3) 대리자로 통보받은 CM은 *'CM-Delegator 모드'*로 전환하여 대리자가 되고

a) 이동 가능한 노드이면 CH 가까이 이동한다.

b) 이동이 불가능하면 전송 범위를 확장한다.

전송 범위 확장에 필요한 송신 전력은 다음의 전송 범위(반경 R)를 고려하여 설정한다.

$$R_{Delegator} = R_{CH} + |CH_{x,y} - Delegator_{x,y}| \quad (1)$$

여기서 $R_{Delegator}$와 R_{CH}는 대리자와 CH의 전송 범위를 나타내고, $CH_{x,y}$ 와 $Delegator_{x,y}$는 CH와 대리자의 위치 좌표를 각각 나타낸다.

Fig. 5는 CH와 대리자의 전송 범위를 나타낸 것으로, 대리자는 CH에 가까울수록 전송 범위가 거의 같으며, 거리 차이를 고려하여 전송 범위를 넓혀야만 CH가 담당하는 모든 CM에게 데이터 전송이 가능하게 된다.

4) CH는 동작 모드를 *'CH->Mandator 모드'*로 변환하고 CM으로부터 데이터를 수신만 하고, 송신은 대리자에게 맡긴다. 대리자는 *'CM->Delegator 모*

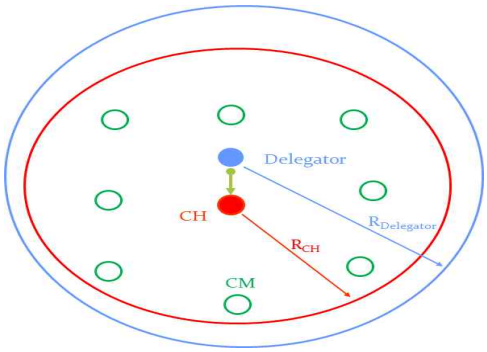

Fig. 5, Transmission ranges of CH and Delegator.

드'에서 CM 본래의 기능 외에 추가로 CH의 송신 기능을 담당한다.

이 때, 다른 CM으로부터의 데이터 전송은 CH뿐만 아니라 대리자에게도 도착이 된다고 가정한다. 만일 대리자와 가장 먼 CM과의 거리가 CH와 가장 거리가 먼 CM과의 거리보다 멀고, 이 CM의 전송 출력이 충분하지 않다면 대리자가 직접 그 CM으로부터 데이터를 수신하지 못할 수 있다. 이럴 경우에는 CH가 CM들에게 송신할 데이터를 대리자에게 중계를 하고, 대리자는 CH로부터 넘겨받은 데이터를 다른 CM에게 전송한다. CH가 다른 CM보다 가까운 거리에 있는 CM을 대리자로 선택했으므로 전송 범위를 $|CH_{x,y} - Delegator_{x,y}|$로 줄여 전력 소모를 최소화한다. CH는 CM으로 보낼 데이터와 대리자가 방송한 데이터를 비교하여 누락된 데이터를 점검할 수 있다.

5) 대리자 노드가 추가 전력 소모로 인해 잔여 전력이 문턱값 이하로 떨어지면, CH에게 대리자 역할을 더 이상 할 수 없음을 통보한다.

6) CH는 1)단계로 돌아가 다른 대리자를 구하거나, 더 이상 대리자를 구하지 못하면 루트 노드에 네트워크 전체 재클러스터링을 요청한다.

4. 시뮬레이션

알고리즘의 동작을 검증하기 위하여 NS2(Network Simulator)-2.35[16]을 사용하여 Fig. 6과 같이 무선 노드를 배치하고 실험하였다. 노드 #4를 루트 노드로 정하여 Fig. 3의 클러스터링 알고리즘을 사용하여 트리를 생성하였으며, 동작하는 시뮬레이션 환경은 Table 1과 같다. 사용된 MAC은 802.11 그리고 라우팅 프로토콜은 DSDV이다.

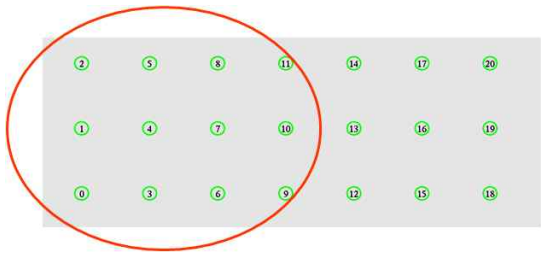

Fig. 6 Simulation Topology.

Table 1 Parameters for simulation test

Parameters	Value
distance among nodes	100 m
transmission range	250 m
transmission range	0.660 W
transmission range	0.395 W
idle power	0.035 W
init power per node	1 J

4.1 샘플 WSN 응용 동작

클러스터가 생성되고 나면, WSN에서는 이 클러스터를 사용하여 응용의 동작이 이루어지며, 시간이 지날수록 각 노드의 에너지 잔량은 감소할 것이다. 탐지나 추적과 같은 WSN응용은 전체 네트워크를 형성하는 노드 중 일부가 불규칙적으로 동작하므로 전력 소모가 일정치 않고 예측이 곤란하다. 그러므로 본 논문에서는 실제 동작하는 프로토콜의 실례로서, 이전 연구에서 제안된 시각 동기화 프로토콜인 EPSP [17]를 실행시키고 전력 소모에 따른 노드의 잔여 전력에 따라 클러스터의 변화를 살펴보기로 한다. EPSP의 동작은 CH와 CM사이에 일정한 동작이 반복되므로 동일한 잔여 전력 조건에서 기존의 클러스터링 및 제안 방안을 비교하기 위한 것이다. EPSP의 동작을 요약하면, CH와 모든 CM간에 2-Way 핸드쉐이크가 라운드 로빈 방식으로 일정 주기마다 실행되며, 이러한 동작을 라운드라고 부른다[17].

4.2 재클러스터링 소모 전력

재클러스터링에는 상당한 전력이 소모되며 전체 노드가 전송에 참여하므로 네트워크의 크기가 클수록 더욱 큰 부담이다. 재클러스터링 방안이나 노드 수, 동작 환경에 따라 소모되는 전력은 다르며, 본

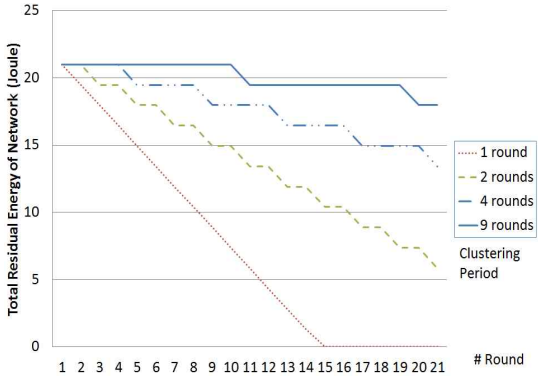

Fig. 7. Power consumption for reclustering at different intervals.

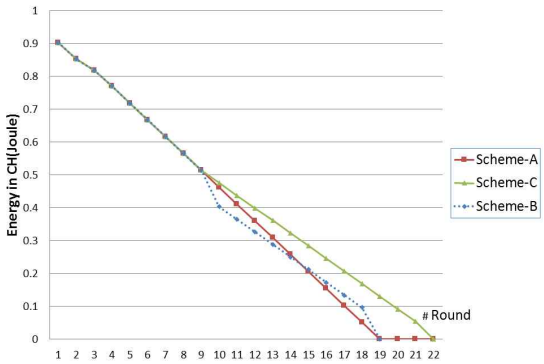

Fig. 8. Power consumption of CH for compared schemes as operation progresses.

시뮬레이션에서는 동일한 조건에서 재클러스터링 실시 여부나 회수에 따른 소모 전력을 비교하기 위하여 Fig. 3에 나타낸 클러스터링 알고리즘을 동작시키고 소모 전력을 측정하였으며, Fig. 7에 나타내었다. 각 노드의 초기 전력을 1(J)로 하여 전체 초기 전력은 21(J)이며, 1회 클러스터링에 전체 노드가 참여하여 1.5154(J)이 소요되는 것으로 측정되었다. 재클러스터링 주기를 동작 라운드의 배수로 설정하여 비교하면, 매 라운드마다 재클러스터링할 경우, 15라운드가 되면 재클러스터링만으로 전체 전력이 모두 소모되며, 그 이전에 일부 CH가 동작을 멈춘다. 재클러스터링 주기가 길어질수록 전력 소모가 줄어듦을 볼 수 있으며, 가능한 재클러스팅 간격을 늘리는 것이 에너지 효율에 중요함을 알 수 있다.

4.3 CH의 전력 소모 및 수명

본 논문에서 제안한 방식과 다음의 기존 방식의 전력 소모를 비교하기 위하여 다음의 실험을 하였다.

- Scheme-A : 초기에 클러스터링을 1회만 실시하고 재클러스터링을 하지 않는 방식
- Scheme-B : 주기적으로 재클러스터링을 하는 방식(예, LEACH[18])
- Scheme-C : 제안 방식

또한 본 실험에서는 동일한 조건에서 4.1에서 설명한 샘플 애플리케이션을 여러 라운드 실행하며 전력 소모를 측정하였다.

Fig. 8은 여러 라운드 동작을 시키면서 CH(node #4)의 전력 소모를 측정한 것이다. 그림에서 “Scheme-A”는 CH의 변경과 재클러스터링없이 계속 동작시킨 결과, 19라운드에서 CH의 전력이 완전히 소진되었다. “Scheme-B”는 node#4의 잔여 전력이 초기의 0.5정도인 9라운드마다 재클러스터링을 하여 CH를 변경하여 동작시킨 결과로, CH 변경전보다 완만하게 전력이 소모되지만, 재클러스터링으로 인한 전력 소모가 발생하여 “Scheme-A”와 큰 차이 없이 19라운드에서 완전 소진되었다. “Scheme-C”는 9라운드에서 본 논문에서 제안한 방법으로 node#7이 CH를 대리하여 전송을 담당함으로써 CH의 잔여 전력이 “Scheme-A”보다 완만하게 줄어들어 22라운드에서 완전 소진되었다. 따라서 다른 두 방안보다 Scheme-C에서 CH의 수명이 더 연장되었다.

4.4 각 노드의 잔여 전력

Fig. 9는 CH의 변경과 재클러스터링없이 계속 동작시켜 CH의 전력이 완전히 소진된 19라운드에서, 본 논문에서 제안한 방안으로 CH의 역할을 변경하였을 때 각 노드의 잔여 전력을 비교한 것이다.

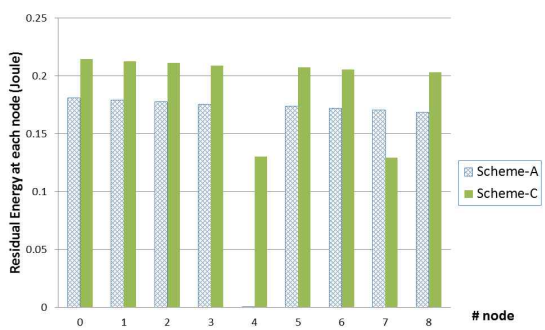

Fig. 9. Residual powers at each node for compared schemes after round 19.

“Scheme-A“는 다른 CM 노드에 비하여 CH의 전력이 확연히 소진되어 동작을 멈추었음을 볼 수 있다. “Scheme-C“는 9라운드에서 node#7이 대리자로 동작하여 다른 CM보다 전력 소모가 커지만, CH와 부담을 일부 나누어, CH 및 대리자의 잔여 전력이 상대적으로 여유가 있어 네트워크의 생존 시간이 연장됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 클러스터 구조의 WSN에서 전력 소모가 상대적으로 많은 CH를 교체하거나 재클러스터링을 하지 않고 CM 중의 하나를 대리자로 설정하여 CH의 부담을 분산시켜 재클러스팅 간격을 늘림으로써 CH의 수명을 연장하여 결과적으로 네트워크의 수명을 연장하는 방안을 제안하였다.

시뮬레이션을 사용하여 제안된 방안의 성능을 검증하고 기존의 다른 방안과 비교하였다. 그 결과 제안한 방안이 주기적으로 재클러스터링을 하거나, CH의 잔여 전력에 따라 자주 재클러스터링하는 기존의 방안에 비하여 전체 전력 소모를 줄이고, 네트워크의 수명을 연장시키는 장점이 있음을 확인하였다.

REFERENCE

[1] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless Sensor Network Survey", *Computer Networks*, Vol. 52 No. 12, pp.1-39 , 2008.

[2] G. Anastasi, M. Conti, M. Francesco, and A. Passarella, "Energy Conservation in Wireless Sensor Networks : A Survey," *Ad Hoc Networks*, Vol. 7, No. 3, pp.1-32, 2009.

[3] B. Wang, H. Lim, and D. Ma, "A Survey of Movement Strategies for Improving Network Coverage in Wireless Sensor Networks," *Computer Communications*, Vol. 32, No. 13, pp.1-10, 2009.

[4] M. Younis, I. Senturl, K. Akkaya, S. Lee, and F. Senel, "Topology Management Techniques for Tolerating Node Failures in Wireless Sensor Networks: A Survey", *Computer Networks*, Vol. 58, pp.254-283, 2014.

[5] I.F. Akyildiz, T. Melodia, and K.R. Chowdhury, “A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks,” *Computer Networks*, pp.921-960, 2007.

[6] D. Mantri, N. Prasad, and R. Prasad, “Node Heterogeneity for Energy Efficient Synchronization in Wireless Sensor Network,” *Proceeding of 7th International Conference on Communication, Computing and Virtualization*, pp.885-892, 2016.

[7] V. Pal, Yogita, G. Singh, and R. Yadav, “Effect of Heterogeneous Nodes Location on the Performance of Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks,” *Proceeding of Third International Conference on Recent Trends in Computing*, pp.1042-1048, 2015.

[8] V. Gupta and R. Pandey, “An Improved Energy Aware Distributed Unequal Clustering Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Networks,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, No.19, pp. 1050-1058, 2016.

[9] M. Prakash and B. Paramasivan, “Request-Response Based Power Aware Routing Protocol for Wireless Heterogeneous Sensor Networks,” *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, Vol. 10, No. 7, pp. 59-74, 2015.

[10] M. Senouch, A. Mellouk, and A. Aissani, “Random Deployment of Wireless Sensor Networks: A Survey and Approach,” *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, Vol. 15, pp.133-146, 2014.

[11] D. Kumar, T. Aseri, and R. Patel, “Energy Efficient Heterogeneous Clustered Scheme for Wireless Sensor Networks,” *Computer Communications*, Vol 32, pp. 662-667, 2008.

[12] P. Sharma and P. Mandal, “Reconstruction of Aggregation Tree in spite of Faulty Nodes in Wireless Sensor Networks,” *Proceeding of 6th IEEE International Conference on Wireless Communication and Sensor Networks*, 2010.

[13] X. Liu and J. Shi, "Clustering Routing Algorithms In Wireless Sensor Networks: An Overview," *KSII Trasactions on Internet and Information Systems*, Vol. 6, No. 7, pp. 1735-1755, 2012.

[14] X. Liu, "A Survey on Clustering Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," *Sensors*, Vo. 12, No. 8, pp. 11113-11153, 2012.

[15] M. Messai and H. Seba, "Saving Energy by an Alliance: An Adaptive Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks," *Sensor Letters*, Vol. 14, No. 10, pp. 1036-1043, 2016.

[16] The Network Simulator ns-2: Documentation, http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html, Nov. 2011. (accessed Oct. 2017).

[17] S. Bae, "An Energy-efficient Pair-wise Time Synchronization Protocol for Wireless Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 10, pp. 1808-1815, 2016.

[18] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, 2002.

배 시 규

1998년 경북대학교 컴퓨터공학과 (박사)

1995년~현재 동양대학교 교수

관심분야 : Computer Networks, Mobile Networks, Internet Applications, IoT