

사물인터넷에서 가중치 기반 클러스터 헤드 교체 알고리즘

김 정 원*

A weight-based cluster head replacement algorithm in the Internet of Things

Jeong-Won Kim*

요 약

사물인터넷은 다수의 센서를 통해 다양한 데이터를 수집하므로 센서의 생존 시간을 최대화하고 데이터를 효율적으로 수집해야한다. 또한 특정 영역에서의 연속적인 데이터 수집은 해당 센서들의 에너지 소비를 증가시키고 이벤트에 급격한 변화가 없을 경우 비슷한 데이터를 계속적으로 전송해야한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 배치된 센서들을 동일 크기의 그리드로 나누고 단일 그리드 내에서 잔존 에너지, 센서의 밀도, 그리고 위치를 고려하여 최적의 헤드노드를 선택하는 알고리즘을 제시한다. 이 알고리즘의 목표는 그리드의 수명을 최대화하는 것이다. 시뮬레이션 결과 기존 기법들에 비해 단순하면서도 에너지를 효율적으로 사용함을 확인할 수 있었다.

▶ Keywords : 사물인터넷, 센서 네트워크, 헤드 교체 기법

Abstract

Since the sensors of Internet of Things (IOT) collect various data, the lifetime of sensor network is very important and the data should be aggregated efficiently. The contiguous collection by the certain sensors occurs an excessive battery consumption and successive transmission of same value of data should be avoided. To solve these things, we propose an weight-based cluster head replacement method that divides whole network into several grids and cluster head is selected by remaining energy, density of alive sensors and location of sensor. The aim of algorithm maximizes the lifetime of network. Our simulation results shows that the proposed method is very simple as well as balances energy consumption.

▶ Keywords : IOT, sensor network, head replacement

• 제1저자 : 김정원
• 투고일 : 2014. 8. 28, 심사일 : 2014. 9. 23, 게재확정일 : 2014. 10. 7.
* 신라대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, Silla University)

I. 서론

사물인터넷은 통신 능력을 갖추고 있으므로 주변 환경을 센싱하여 정보를 처리하고 센서들끼리 네트워크를 형성하여 사물과 사물, 사물과 인간 사이의 정보 교환이 가능하다. 이 사물인터넷의 등장으로 인간, 사회, 장치들 간의 창의적인 상호작용이 더욱 증가할 것으로 기대된다. 최근 수년 동안 사물인터넷 관한 다수의 연구들이 이루어지고 있는데 객체 인식, 객체 추적, 객체사이의 네트워크, 센싱 데이터 가시화, 보안 제어 등이 대표적이다.

사물인터넷의 토폴로지 관점에서는 기존에 존재하는 네트워크를 사용하는 것과 ad-hoc 방식이 있다. 기존 인프라 방식은 베이스 스테이션, 라우터, 그리고 액세스 포인트를 이용하여 중앙 집중식으로 데이터를 관리하는 방식이다. ad-hoc 방식은 블루투스, 와이파이 등 단거리 라디오 전송 기술을 이용하는 것으로 분산형이며 사용자들이 비주기적으로 사물인터넷이 접속하므로 사용자 중심적이다.

사물인터넷의 하부 네트워크 구조가 기존 인프라 방식이든 ad-hoc 방식이든지 상관없이 수집된 데이터는 사용자의 특정 질의에 응답하기 위해 가공되어 베이스 스테이션으로 전송된다. 개별 센서에 의해 수집된 데이터는 센서가 소속된 주위의 환경이 질의에 대한 응답이 이루어지는 동안 변화가 없다면 시간적으로 높은 유사도를 보일 것이다. 즉 두 개의 연속된 응답 사이에 정보의 차이가 없을 것이다. 이러한 경우 센서의 에너지 소비를 감소시키기 위해서는 응답 주기를 늘이는 등의 대책이 요구된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 다수의 기법들이 제안되었는데 대표적으로 센서노드를 인덱스 트리로 구축하여 공간 질의를 수행하는 것이다. 이 기법, 즉 Minimum bounding rectangle(MBR)은 센서들 간의 부모-자식 관계를 구축하는데 이를 위해 브로드캐스팅 메시지가 다수 발생하고 특히 ad-hoc의 경우는 동적인 색인 트리의 재구성이 요구되므로 에너지 소모가 많이 발생한다[1,2,3].

본 논문에서는 사물인터넷에서 센서 노드들의 에너지 소모를 최소화하기 위해서 센서 네트워크의 전 영역을 동일한 그리드로 나누고 다수의 그리드 셀들은 하나의 서버 영역으로 소속되고 서버 영역들은 다시 상위 서버 영역으로 병합된다. 이 과정은 하나의 최상위 영역이 될 때 까지 반복된다. 따라서 동 구조에서는 영역 사이의 데이터 전송이 이루어지므로 에너지 소비가 최소화 될 수 있다. 그리드 셀에서는 영역 헤드 노드가 존재하여 베이스 스테이션으로의 라우터 역할을 수

행한다. 따라서 영역 헤드 노드는 에너지 소모가 많으므로 베이스 스테이션과의 거리, 질의 응답의 빈도, 잔존 에너지 정도 등을 고려하여 효율적으로 선택할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 영역 헤드 노드의 효율적인 교체 알고리즘을 제시하여 그리드 기반의 사물인터넷에서 에너지 소모의 효율성을 향상시키고자 한다.

논문은 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 연구와 관련된 기존 연구들을 분석하고, 3장에서는 클러스터 헤드 교체 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 제안된 기법의 효율성을 검증하고 5장에서는 결론과 향후 연구를 제시한다.

II. 관련 연구

본 장에서는 본 연구와 관련된 기존 연구들을 간략히 제시한다. LEACH-C와 F-LEACH는 중앙집중식의 클러스터 헤드 선택 기법으로 각 센서들은 자신의 위치를 베이스 스테이션으로 보낸다[4]. 헤드 노드를 선택하는 방법은 클러스터의 전체 에너지와 후보 센서의 위치에 의해 결정되는데 헤드 노드의 분산에는 효과적이지만 모든 센서들과 베이스 스테이션과의 빈번한 통신에 의해 센서의 생존 시간을 단축시킨다.

F-LEACH는 고정된 클러스터 내에서 헤드 노드를 교대로 할당하는 방법으로 클러스터가 구축되고 나서 매 라운드마다 시행되는 헤드노드 설정 오버헤드를 감축시킬 수 있으나 각 노드는 헤드노드가 소속된 클러스터로 고정되어 보다 가까운 클러스터의 헤드노드에 메시지를 보낼 수 없는 단점이 있다[5]. E-LEACH는 센서의 잔존 에너지에 의해 헤드 노드를 선택하는데 매 라운드마다 남아있는 에너지가 많은 노들이 후보로 선택된다[6]. V-LEACH는 vice-CH 기법으로 정의되는데 특정 라운드에서 헤드노드가 죽더라도 데이터는 베이스 스테이션에 항상 전송을 보장하는 알고리즘이다[7].

Cooperative LEACH는 기존의 LEACH기법과는 다르게 클러스터 내에 다수의 헤드노드를 배치하여 상호 협력적으로 베이스 스테이션에 메시지를 보내는 알고리즘이다[6]. W-LEACH는 LEACH의 확장으로 데이터 수집에 중점을 두고 있는 기법으로 센서들의 에너지 잔량과 클러스터의 센서 밀도 정도에 따라 헤드노드를 선택하며 특정 이벤트가 발생한 해당 영역의 센서들에게 가중치를 부여하여 보다 많이 데이터를 전송할 수 있도록 하는 알고리즘이다[9]. 이 기법은 이벤트 및 데이터 수집에 중점을 두고 있고 특정영역의 노드들에 에너지 소모가 집중되므로 에너지 불균형을 초래한다. 본 연구는 네트워크의 전체 생존기간을 최대화하기 위해 잔존 에너지, 밀도, 그리고 위치까지 고려한 방법으로 센서 노드의 생

존 시간을 최대화하고 한다.

III. 가중치 기반 헤드 교체 알고리즘

제안하는 기법의 시스템 구조는 그림 1에서 보듯이 그리드 기반으로 각 센서들은 그리드에 소속되고 각 그리드 내에서 발생하는 이벤트는 클러스터 헤드(CH : Cluster head)에 의해 센싱한 데이터를 베이스 스테이션으로 전송한다. 일반적으로 사물인터넷을 위해 배포된 센서들은 초기에는 균일하게 배치되더라도 시간이 지남에 따라 손실, 지형적 이유, 환경적 요인에 의해 비균일적으로 유지된다. 사용자 참여형 사물인터넷에서도 주로 모바일 기기에 부착된 센서에 의해 네트워크가 유지되므로 비균일 배치는 필연적이다.

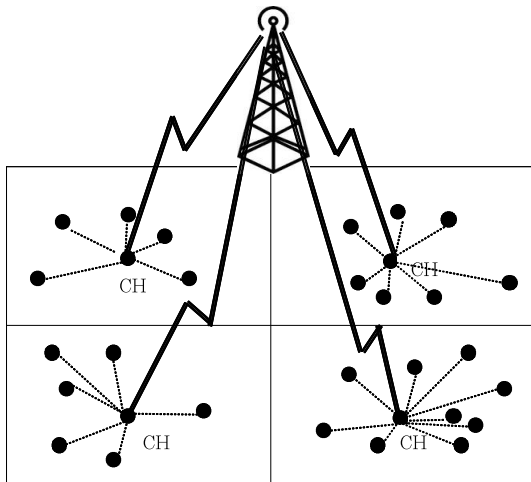


그림 1. 그리드 기반 네트워크 구조
Fig. 1. Grid-based IOT

센서들이 생산하는 데이터 값들은 점차적으로 변하거나 또는 급격하게 바뀔 수 있다. 급격한 변화는 특정 센서 주위에서 갑작스런 이벤트가 발생하는 경우로 급격한 기후의 변화, 갑작스런 생체 신호의 변화 등이 그 예이다. 따라서 이러한 중요 데이터의 손실 없이 데이터가 전송되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 점을 고려하여 에너지 효율적인 클러스터 헤드 교체 알고리즘을 제시한다. 중요한 정보를 손실 없이 전송하기 위하여 그리드 기반으로 사물인터넷을 구조화하고 에너지 효율적인 헤드 교체 알고리즘을 제시하여 사물인터넷을 위한 네트워크의 생존 기간을 최대화시키는 것이다.

3.1 센서 노드의 에너지 모델

표 1은 본 연구에서 사용한 센서의 에너지 모델로서 모든 센서는 동일한 통신 반경을 가진다고 가정한다. 각 센서의 초기 에너지 (E_{init}) 는 IJ 로 가정하며 b_{pac} 비트의 데이터를 d_{trans} 거리에 있는 노드에 전송하는데 필요한 에너지는 $E_t(b_{pac}, d_{trans})$ 이다. 데이터를 수신하는데 필요한 에너지는 $E_r(d_{trans})$ 이다. 노드 i 에서 노드 j 까지 b_{pac} 비트의 패킷을 보내는데 필요한 에너지는 노드 i 가 센서노드이면 $E_t(b_{pac}, d_{trans})$ 이고 헤드 노드이면 $E_t(b_{pac}, d_{trans}) + E_r(d_{trans})$ 의 에너지가 요구된다(수식(1)).

$$E_t(b_{pac}, d_{trans}) = b_{pac} * e_{t_elec} + e_{t_amp} * b_{pac} * d_{trans}^{\alpha}$$

$$E_r(d_{trans}) = b_{pac} * e_{r_elec} \quad \text{수식 (1)}$$

표 1. 에너지 모델의 기호
table 1. Symbol of energy model

기호	설명
b_{pac}	전송할 패킷의 비트수
e_{t_elec}	전송 소자의 에너지 소모 상수
e_{t_amp}	전송 증폭기의 에너지 소모 상수
d_{trans}	전송 거리
r	통신 반경
E_t	전송 에너지 소모량
E_r	수신 에너지 소모량
E_{init}	센서의 초기 에너지 (1J)

3.2 클러스터 헤드 교체 알고리즘

본 연구의 그리드 셀은 동일 크기로 초기에 센서들은 각 셀에 균일하게 배치되지만 에너지 고갈, 고장 등 다양한 요인에 의해 비균일하게 유지된다. 전체 영역은 동일 크기의 그리드로 나누어지며 이 셀은 정방형으로서 한 변의 길이는 통신 반경 r 의 제곱근에 비례한다. 이상적인 통신 거리는 1 홉이 될 것이며 센서가 희박하게 배치된 셀은 1 홉 이상이 될 수 있을 것이다. Heinzelman et al. (2002)가 제안한 센서 네트워크에서는 클러스터 헤드 노드가 될 최적의 확률에 의해 헤드 노드가 선택되는데 이것을 계산하기 위해 센서들의 에너지 소모가 요구된다[10]. 또한 Tang J, et al (2013) 등의 연구에서는 그리드 셀을 클러스터 영역으로 구성하고 하위 영역들을 모아서 상위 영역으로 소속시킨다[1]. 이 작업은 하나의 영역이 될 때까지 계속되는데 이러한 구성에는 추가의 에너지 소모가 요구된다.

본 연구에서는 각 클러스터의 헤드노드가 직접 베이스 스테이션으로 연결되는 구조를 기반으로 한다. 또한 초기에는

셀 중앙에 가장 가깝게 위치한 노드를 선택하고 이후는 에너지 소모를 고려하여 헤드노드를 선택하는 방법을 제안한다. 제안하는 헤드 교체 기준은 센서의 에너지 잔량, 셀 내의 생존 센서의 밀도, 그리고 중심에서의 거리이다. 에너지 잔량이 높을수록 후보가 될 가능성이 높으며, 셀의 전체 에너지 밀도가 높으면 당연히 전체 네트워크의 생존 기간이 길어질 것이다. 그리고 셀에 중심에 있을수록 다른 센서들과 통신을 위한 에너지 소모가 낮을 것이다.

이러한 요소를 반영하기 위해 수식 (2)와 같이 헤드노드를 선택하기 위한 가중치 w_i 를 도입한다. 여기서 d_i 는 전체 센서의 수에 대한 반경 r 에 생존한 센서의 수이다. 그리고 c_i 는 셀 중심에서의 거리로서 중심에서 가까울수록 r-ci 값이 커지므로 가중치도 높아진다.

$$w_i = e_i * d_i * (r-c_i) \quad \text{수식 (2)}$$

```

make_Grid() {
1: divide the all region into even grid cells
2: select initial cluster head
3: if period is time out
4:   select_Cluster_Head();
   else
   idle;
}
select_Cluster_Head() {
  S : total number of alive sensors
  S_k : number of alive sensors in range r
5: for all sensors of all grid {
6:   e_i = measure remaining battery;
7:   d_i = S_k / S;
8:   w_i = e_i * d_i * (r-c_i)
}
9: select new CH with maximum w_i
}
    
```

그림 2. 헤드 교체 알고리즘
Fig. 2. Head replacement algorithm

그림 2는 클러스터 헤드 교체 알고리즘으로서 먼저 전체 영역을 동일 크기의 그리드 셀로 나눈다. 초기에는 클러스터 헤드를 중심에서 가장 가까운 노드를 선출 하고 시간이 지나면 센서의 에너지 잔량, 그리드의 에너지 밀도, 그리고 중심에서의 거리를 요소로 하는 가중치를 알고리즘의 5~8 라인처럼 계산하여 가중치가 최대인 노드가 다음 주기의 헤드노드가 된다.

3.3. 헤드 교체 주기

기존의 연구들은 클러스터 헤드의 수나 클러스터 크기를 최적화하여 네트워크의 생존 가능 시간을 최대화하는 것에 중점을 두고 있다. 특히 LEACH 알고리즘은 확률적으로 헤드 노드를 선택하고 매 라운드당 관련 메시지를 전송하여 추가의 에너지 소모를 요구한다. 따라서 헤드 노드의 수나 메시지를 전송하는 주기는 노드의 에너지 소모와 밀접한 연관이 있다. 헤드 교체 주기를 너무 길게 하면 특정 노드의 에너지가 고갈되어 해당 노드가 담당하는 지점이 음영이 되고 너무 빈번하게 하면 전체 네트워크의 생존 시간이 짧아진다. 즉 First node die(FND), Last node die(LND) 사이의 시간이 길어지게 된다.

한편 센서들은 이전 주기에 생성한 정보와 해당 주기에 전송한 정보가 유사할 경우 값을 전송할 필요가 없으므로 데이터 전송 주기를 늘려도 상관없다. 반면 특정 이벤트 발생으로 데이터값이 급격하게 변하는 경우는 주기가 짧아야 실시간 정보 전송이 가능할 것이다.

본 연구에서는 이러한 점들을 고려하여 각 센서의 예상 생존 시간의 분산이 특정 임계치보다 클 때 헤드 노드를 교체하여 FND, LND 사이의 간격을 최소화하고자 한다. 각 센서의 예상 생존 시간(Life span : LS_i)은 아래의 수식 (3)에 의해 계산된다. 향후 예측되는 주기는 이전 주기들의 평균 ($P_i^{average}$)으로 정하고 한 주기 동안에 $E_i + \alpha$ 에너지를 소모할 경우 센서의 에너지 잔량(E_{rem})을 한 주기 동안 소모하는 에너지로 나누면 예상 생존 시간을 구할 수 있다.

$$LS_i = \frac{E_{rem}}{E_i + \alpha} \times P_i^{average} \quad \text{수식 (3)}$$

센서들의 예상 생존 시간 (LS_i)의 분산은 수식 (4)와 같이 얻을 수 있다. 이 때 μ 는 LS_i 의 평균이다. 이 분산 σ^2 이 특정 임계치보다 크면 헤드교체를 결정하며 이 임계치는 LS_i 의 최소 값으로 정할 수 있다. 즉 생존 확률이 가장 낮은 센서의 교체 주기를 보장하는 것이다.

$$\sigma^2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (LS_i - \mu)^2} \quad \text{수식 (4)}$$

IV. 성능 평가

replacement: WBR)의 성능 평가를 위해 매트랩 및 시뮬링크에서 실험 환경을 구축하였다. 센서노드는 주기적으로 클러스터 헤드로 데이터를 보내고 클러스터 헤드는 데이터를 수집하여 베이스 스테이션으로 전송한다. 센서노드는 Chipcon CC2420 RF 칩으로 구성되며 250kbps 일 경우 전송시 17.4mA, 수신시 19.7mA가 소요된다고 가정하였다[11]. 성능평가는 헤드교체 기법에 따른 네트워크의 생존 시간으로서 주기적인 교체(Round-based replacement: RBR), 특정 임계치를 설정하는 방법(Threshold-based replacement: TBR)과 비교하였다.

네트워크의 크기는 100×100m로 그리드에는 100개의 센서가 배치되어 있다. 실제 환경과 유사한 환경 구축을 위해 SensorScope에서 생성한 실측 데이터를 사용했는데 이 데이터는 18개의 기상국에서 43일간 수집한 기상 자료이다[12]. 본 연구에서는 이 데이터 중에서 온도 데이터만 이용하였다. 이 데이터 중에서 실험을 위해 10,000개의 데이터만 사용하였고 실험의 주기는 10,000 라운드로 제한된다.

그림 3은 세 가지 기법의 라운드당 생존 센서의 수를 나타낸다. RBR은 약 4,100, TBR은 5,000, 그리고 WBR은 6,600 라운드까지 생존한 것을 볼 수 있다. RBR은 매 라운드마다 헤드노드를 교체하므로 네트워크의 생존기간이 가장 짧으며 TBR은 임의의 임계치까지는 헤드노드를 교체하지 않으므로 RBR보다는 900 라운드 이상 더 길게 생존한 것으로 분석된다. WBR은 TBR보다 1,600 라운드 이상 더 생존하였는데 후보 헤드 노드들의 에너지 잔량, 그리드 내의 생존 센서들의 밀도, 그리고 중심에서의 거리 등을 고려하여 후보를 교체하여 생존 시간을 최대화한 것으로 분석된다.

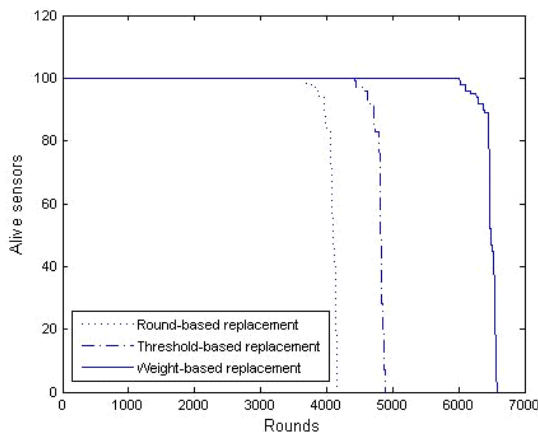


그림 3 라운드당 생존 센서의 수
Fig. 3. Alive sensors per rounds

그림 4는 라운드별 센서들의 에너지 총 잔량을 측정함으로써 본 논문에서 제안하는 WBR기법의 에너지가 가장 많이 남아 있는 것으로 측정되었다. 이것은 그림 3에서 분석한 것과 마찬가지로 RBR은 매 라운드 교체로 인한 메시지 전송에 따른 에너지 소모가 많다는 것을 의미하며 TBR은 임계치까지는 교체하지 않지만 임계치에 도달한 센서들의 수가 급격히 늘어날수록 수명이 다한 노드도 급격히 증가하기 때문에 WBR 기법보다 성능이 떨어지는 것으로 분석된다.

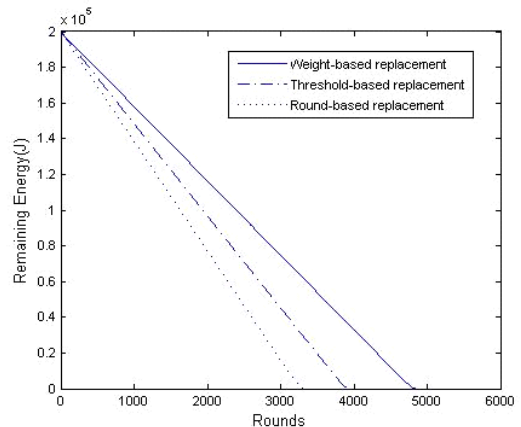


그림 4. 라운드당 에너지 잔량
Fig. 4. Remaining energy per rounds

V. 결론 및 향후 연구

사물인터넷은 인간 및 자연 환경에 배치된 센서에 의해 정보를 획득하는 것으로 네트워크의 생존 시간이 중요한 이슈 중 하나이다. 이 센서 네트워크는 발생한 이벤트를 신속하게 서버로 전송해야 하므로 이를 담당하는 헤드 노드의 선택이 전체 성능에 지대한 영향을 미친다. 본 연구는 이 헤드 노드 선택에서 각 센서 노드의 에너지 잔량, 생존 센서의 밀도, 그리고 중심에서의 거리에 대한 가중치를 기반으로 헤드 노드를 교체하는 기법을 제안하였다.

실험을 위해 실제 실측한 온도 데이터를 기반으로 라운드당 생존 센서 노드 수, 그리고 에너지 잔량을 측정하였는데 매 주기 교체하는 기법과 특정 임계치를 두고 교체하는 기법보다 나은 성능을 보였다. 향후 연구로는 현장에서 발생하는 갑작스런 이벤트의 발생에 능동적으로 대처할 수 있도록 본 연구를 확장하는 것이다.

참고문헌

- [1] J. Tang, "An energy efficient hierarchical clustering index tree for facilitating time-correlated region queries in the Internet of Things," *Journal of Network and Computer Applications*, pp. 1-11, Jul. 2013.
- [2] D. K. Cho, "Development and Implementation of Monitoring System for Management of Virtual Resource Based on Cloud Computing," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, pp. 41-47, vol. 18, no 2, Feb. 2013.
- [3] D. W. Jeong, "A Standard Reference Model for Semantic Interoperability in Cloud Computing," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, pp. 71-80, vol. 17, no 8, Aug. 2012.
- [4] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, 2002.
- [5] W. B. Heinzelman, "An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks," [Ph.D. thesis], Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [6] X. Fan and Y. Song, "Improvement on LEACH protocol of wireless sensor network," in *Proceedings of the International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSOR COMM '07)*, pp. 260-264, Valencia, Spain, Oct. 2007.
- [7] M. B. Yassein, A. Al-zou'bi, Y. Khamayseh, and W. Mardini, "Improvement on leach protocol of wireless sensor network (vleach)," *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, vol. 3, no. 2, pp. 132-136, 2009.
- [8] A. Asaduzzaman and H. Y. Kong, "Energy efficient cooperative LEACH protocol for wireless sensor networks," *Journal of Communications and Networks*, vol. 12, no. 4, pp. 358-365, 2010.
- [9] M. H. Abdulsalam and B. A. Ali, "W-LEACH Based Dynamic Adaptive Data Aggregation Algorithm for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, pp. 1-11, Aug. 2013.
- [10] Tan HO, I. KorpeogluI, and I. Stojmenovic, "Computing localized power-efficient data aggregation trees for sensor networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed System*, Vol. 22, No. 3, pp. 489-500, 2011.
- [11] V. Bergli, "SmartRF CC2420: 2.4 GHz IEEE802.15.4/Zigbee RF Transceiver," <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/cc2420.html>
- [12] The SensorScope Grand-St-Bernard Deployment, <http://lcav.epfl.ch/cms/lang/en/pid/86035>

저자 소개



김정원

1995년 : 부산대학교
전자계산학과(학사)
1997년 : 부산대학교 대학원
전자계산학과(석사)
2000년 : 부산대학교 대학원
전자계산학과(박사)
2000년~2001년 : 기술신용보
증기금 기술평가역(차장)
2002년~현재 : 신라대학교
컴퓨터정보공학부 교수
관심분야 : 내장형시스템,
멀티미디어, 운영체제
Email : jwkim@silla.ac.kr