

# 사물인터넷에서 임계치 기반의 클러스터 헤드 교체 기법

김정원\*

A cluster head replacement based on threshold in the Internet of Things

Jeong-Won Kim\*

요 약

사물인터넷의 하위 구조인 센서 네트워크는 센서 노드의 효율적인 배터리 사용이 중요한 요소이다. 센서 노드의 배터리 사용 시간을 최대화할 수 있으면 센서 네트워크의 생존 시간도 늘어나고 사물인터넷의 신뢰도도 향상될 것이다. 이 문제에 대한 기존의 해결들은 주로 후보 노드들의 에너지 잔량에 기반하여 클러스터 헤드의 주기적 교체에 중점을 두었다. 본 연구에서는 헤드 교체 주기를 효율적으로 관리하여 네트워크의 생존 시간을 최대화하고자 한다. 제안하는 기법은 센서노드의 에너지 잔량, 위치, 밀도 등을 고려한 임계치에 기반하여 헤드를 교체하고 최초로 소멸되는 노드의 시각과 최후로 소멸되는 노드의 시각 사이의 시간을 최소화한다. 실험 결과 제안하는 기법은 노드간의 에너지 균형과 네트워크의 생존시간을 최대화하는 것을 확인할 수 있었다.

## ABSTRACT

An efficient battery usage of sensor nodes is main goal in a sensor network, which is the substructure of Internet of Things. Maximizing the battery usage of sensor nodes makes the lifetime of sensor network increase as well as the reliability of the network improved. The previous solutions to solve these problems are mainly focused on the cluster head selection based on the remaining energy. In this paper, we consider both the head selection and the replacement interval which is determined by a threshold that is based on the remaining energy, density of alive nodes, and location. Our simulation results show that the proposed scheme has outstanding contribution in terms of maximizing the life time of the network and balancing energy consumption of all nodes.

키워드

Internet of Things, Sensor Network, Cluster Head Replacement

사물인터넷, 센서 네트워크, 클러스터 헤드 교체

## 1. 서론

사물인터넷은 사람과 사물, 사물과 사물사이의 정보 교환 및 투명한 통합을 가능하게 한다. 사물인터넷에서의 스마트 사물은 상호 간의 통신, 네트워크 내부

에서의 데이터 수집, 그리고 최종 사용자의 요구를 서비스하는 부가가치를 창출하기 위하여 물리 장치뿐만 아니라 논리적 장치로 구성된다. 이 장치들은 무선 센서 네트워크를 구성하는데 장치사이의 무선 통신은 에너지 소모가 많으므로 효율적인 관리기법을 요구한

\* 신라대학교 컴퓨터공학과(jwkim@silla.ac.kr)

접수일자 : 2014. 08. 25

심사(수정)일자 : 2014. 10. 20

게재확정일자 : 2014. 11. 10

다. 예를 들면 특정 영역에서의 특정 질의에 대해 서비스하기 위해서는 수백 또는 수천 개의 센서들이 배치되고 센서들은 싱크 노드(sink node) 또는 베이스 스테이션(base station)으로 수집한 데이터들을 에너지 소비를 최소화하면서 전송할 수 있어야 한다[1-2].

사물인터넷은 일반적으로 무선 센서 네트워크로 구성되는 경우가 많으므로 해당 네트워크의 생존 시간이 중요하다. 싱크노드 또는 베이스 스테이션은 각각 소속된 센서 노드로부터 다양한 데이터를 주기적 또는 특정 질의에 응답하기 위해 수집한 정보를 해당 서버로 전송하게 된다. 일반적으로 지역에 배치된 센서들은 제한된 배터리를 가지고 있고 재충전하기가 어려운 반면 데이터 전송과정에서 많은 에너지가 소모되므로 에너지 효율적인 전송 기법이 필요하다[3].

무선 센서 네트워크의 에너지 소비 문제를 해결하기 위해 다수의 연구들이 이루어져 왔는데 전송 경로를 효율적으로 하는 방법과 센서 노드를 클러스터링하여 전송 회수를 줄이는 기법들이 대부분이다. 특히 클러스터링 기법은 다수의 센서 노드가 획득한 데이터를 병합 전송하여 에너지 소모를 감소시킨다. 이 기법에서는 수집한 데이터를 전송하는 노드를 클러스터 헤드(Cluster head : CH)로 정의하고 주기적으로 CH를 선발한다. 이 선발의 주요 기준은 에너지 효율성이다. 그러나 CH를 주기적으로 교체하게 되면 불필요한 교체로 인한 에너지 소모가 발생할 수 있다. 즉 빈번한 교체는 센서 노드 사이의 브로드캐스팅에 의한 에너지 소모가 빈번하게 발생하여 네트워크의 생존 시간을 단축할 수 있다. 반면 느슨한 교체는 CH의 에너지 고갈로 인해 특정 지역에서의 정보 손실과 에너지 불균형을 초래할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 CH 교체의 에너지 효율적인 주기를 찾아냄으로서 네트워크의 전체 생존 시간을 최대화하고자 한다. 제안하는 기법은 크게 두 단계로 구성되는데 교체 주기 결정과 CH 선택이다. 교체 주기는 헤드 교체가 전체 네트워크의 생존 시간에 미치는 영향을 분석하여 적절한 값, 즉 임계치를 정하는 것이다. CH의 선택은 센서노드들의 에너지 잔량, 생존 센서의 밀도, 그리고 위치에 의한 가중치에 기반한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 기법과 관련된 기존 연구들을 분석하고 3장에서는

임계치 기반의 클러스터 헤드 교체 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 실험을 통해 제안하는 기법의 효율성 및 기여도를 분석하고 5장에서는 결론을 제시한다.

## II. 관련 연구

2장에서는 본 연구와 관련된 기존 기법들을 분석한다. 클러스터링에 의한 데이터 전송 프로토콜은 주로 계층적 기법과 체인 기법으로 나누어진다. 대표적으로 LEACH기법은 분산형 클러스터이며 클러스터 내에서 랜덤하게 헤드 노드를 선택하는데 헤드 노드가 지역적 확률값에 의존하므로 네트워크 전체적으로 헤드 노드의 분산이 이루어지지 않는 특징이 있다[4]. 이를 개선하기 위해 다수의 기법들이 제안되었는데 대표적으로 LEACH-C의 경우 베이스 스테이션에서 중앙집중식으로 헤드 노드를 선택한다[5].

TEEN기법은 LEACH와 유사하지만 센서 노드들이 주기적으로 데이터를 전송하지 않고 임계치 값에 따라 전송여부를 결정한다. CH가 이 값을 방송하는데 데이터값이 임계치보다 크면 전송하고 작으면 전송하지 않는다[6]. HEED는 무선 네트워크의 통신 거리 및 클러스터 내부의 데이터 전송을 고려하여 LEACH를 확장하였는데 센서 노드의 에너지 잔량에 기반하여 후보 CH들이 최종 CH가 되기 위하여 매 라운드 경쟁하는 방식이다[7].

PEDAP에서는 무선 라우팅 프로토콜로서 최소 신장 트리 기법을 고안하였다[8]. PEGASIS 기법에서는 TSP(Travelling Sales Person) 휴리스틱으로 통신 체인을 만들고 각 센서 노드는 이 통신 체인에 의해 가장 인접한 두 노드사이에 통신을 하고 지정된 하나의 노드만 싱크 노드 또는 베이스 스테이션으로 통신을 허용한다[9].

SRT(Semantic routing tree)는  $x$  좌표값으로 색인 트리를 구축하고 부모 노드는 자식 노드들의  $x$ 좌표값들의 범위를 저장한다. 질의가 도착하면 저장된 좌표값과 비교를 통해 범위내에 포함되면 자식노드로 질의를 전달하며 단말 노드에 도착하면 센싱한 값을 역으로 전송하여 최종적으로 베이스 스테이션에 값이 전달되는 기법이다[10]. SPIX(distributed Spatial Index)의 경우 R-tree를 사용하여 공간 질의에 참여

하는 노드의 수를 감소시키는 기법으로 브로드캐스팅으로 미리 부모 자식 관계를 미리 정하는데 이는 에너지 소모를 가중시킨다[11].

SIDS는 센서 네트워크에서 센서들의 데이터 유사도에 의해 인택싱이 이루어지는데 각 노드들은 자식 노드와의 데이터 차분을 유지하고 클러스터 사이의 공간적 관계가 데이터의 유사도에 의해 결정된다[12]. 기존의 기법들의 주로 MBR에 의해 결정되는데 비해 센싱한 데이터의 유사도로 트리의 구조가 구축된다. 이 기법은 모든 응용에서 트리 깊이의 최소화를 보장하지는 않는 것으로 보인다. FDSI-tree(Fully distributed index tree)는 부모 노드에 대한 유사도와 MBR 결정에 미치는 영향에 기반하여 센서노드들을 적절한 MBR로 분산시키는 기법이다. 따라서 인택스트리를 구축하기 전에 센서 노드의 네트워크 구조가 미리 결정되어야 하므로 메시지 포워딩에 많은 에너지가 소모된다[13].

위의 연구결과들은 헤드 노드의 선택이나 클러스터링 방법에 주로 중점을 두고 있으나 본 연구에서는 헤드 선택 방법뿐만 아니라 교체 주기에 중점을 두어 네트워크의 생존 시간을 최대화하고자 한다. 먼저 LEACH알고리즘처럼 헤드 노드는 랜덤하게 선택한다. 그리고 FND(First node die)와 LND>Last node die)사이의 시간을 최소화시키는 임계치를 설정하여 이 임계치 전까지는 헤드를 교체하지 않는다. 임계치가 지나면 헤드를 교체하는데 각 그리드 셀내의 전체 센서들의 에너지 고갈의 정도를 고려하여 헤드를 교체한다.

### III. 임계치 기반의 클러스터 헤드 교체 알고리즘

본 장에서는 사물인터넷을 위한 센서 네트워크에서 네트워크의 생존 시간을 최대화하기 위한 임계치 기반의 클러스터 헤드 교체 알고리즘을 제시한다. 센서 네트워크에서 센서 사이의 정보 교환시 발생하는 에너지를 최소화하기 위한 방법으로 다수의 센서를 묶어서 정보를 전송하는 클러스터링 기법이 다수 제안되었다. 클러스터링은 매 라운드마다 CH를 선택하는 단계와 멤버 노드들이 CH로 데이터를 전송하는 단계

로 구성된다. CH는 멤버 노드들의 데이터를 매 라운드마다 받아서 싱크 노드나 베이스 스테이션으로 전송한다. 따라서 에너지 소모가 많으므로 모든 센서 노드간의 에너지 균형이 이루어져야 데이터 손실과 네트워크 생존 시간을 최대화 할 수 있다.

이 클러스터링에는 확률, 에너지 잔량, 네트워크 연결구조를 이용한 알고리즘들이 제안되었는데 대표적으로 LEACH, LEACH-C, ACE, HEED, EEUC 등이 있다. 확률이 사용된 대표적 기법은 분산형인 LEACH, 중앙집중식인 LEACH-C가 있고, 센서 노드 사이의 연결 정보를 이용하는 ACE, 각 노드의 에너지 잔량을 이용하는 HEED, 그리고 에너지 잔량뿐만 아니라 싱크 노드까지의 거리를 이용하는 EEUC가 제안되었다. 이들 기법들은 매 라운드가 고정적이고 헤드 선택의 문제에 집중하는 특징이 있다. 반면 헤드의 교체 주기가 길면 데이터 수집 및 전송에 과도한 에너지를 낭비하고 너무 빈번한 교체는 불필요한 에너지 낭비로 전체 노드 사이의 에너지 불균형을 초래한다. 따라서 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 헤드노드의 새로운 선택 기법과 효율적인 교체 주기 결정 기법을 제안한다.

#### 3.1 클러스터링 개요

제안하는 기법은 전체 네트워크를 동일한 그리드로 나누고 그리드는 다수의 클러스터로 네트워크를 형성한다. 그림 1에서 보듯이 각 클러스터에는 헤드노드가 존재하여 멤버노드의 데이터를 주기적으로 수집하여 싱크 노드(그림 1 Cluster 2의 CH)로 데이터를 전송하고 싱크 노드는 베이스 스테이션으로 다시 데이터를 전송한다. 일반적으로 클러스터사이의 데이터 전송이 싱글 홉일 경우 싱크 노드에서 멀수록 에너지 소모가 많고 멀티 홉의 경우 싱크 노드에 가까운 클러스터는 중계로 인한 에너지 소모가 많은 것이 특징이다. 본 연구에서의 단일 홉을 가정한다.

제안하는 구조는 매 라운드마다 멤버노드의 데이터를 CH가 수집하지만 매번 CH를 교체하지 않고 특정 임계치를 계산하여 전체 노드의 임계치와 비교하여 불필요한 교체를 하지 않음으로서 네트워크의 에너지 소모를 감소시키고자 한다. 또한 CH 선택 방법도 멤버 노드 사이의 에너지 균형을 위해 에너지 잔량, 그리고 중심에서의 거리, 그리고 생존 센서의 밀도를 요

소로 하는 가중치 값에 기반하여 헤드 노드를 선택한다. 이를 통해 노드간의 에너지 균형과 전체 네트워크의 생존 시간을 최대화하고자 한다.

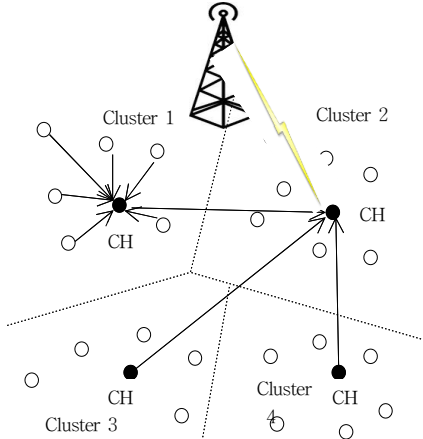


그림 1. 클러스터링 개요  
Fig. 1 Clustering

3.2 에너지 모델

표 1은 이후의 장에서 사용되는 에너지 모델의 요소로서 모든 센서 노드는 동일한 통신 반경을 가진다고 가정한다. 수식 1에서  $E_{tx}(P, \delta)$  는 매 라운드 당  $P$  비트의 데이터를  $\delta$  거리에 있는 노드에 전송하는데 필요한 에너지를 의미한다.  $E_{rx}$  는  $P$  비트의 데이터를 수신하는데 필요한 에너지이다. 초기 에너지는  $E_{init}$  로 표현하며 노드  $i$  에서 노드  $j$  까지  $P$  비트의 패킷을 보내는데 필요한 에너지는 노드  $i$  가 센서노드이면  $E_{tx}(P, \delta)$  이고 헤드 노드이면  $E_{tx}(P, \delta) * (N_i - 1) + (N_i - 1) * E_{rx}$  의 에너지가 요구된다.

$$E_t(P, \delta) = P * a + \beta * P * \delta^2$$

$$E_r = P * a \tag{1}$$

표 1. DRM 체계의 기술적인 분석 비교  
Table 1. Symbol of energy model

Symbol	Description
$E_{init}$	Initial energy of node (1J)
$E_{tx}$	Energy consumed to transmission

$E_{rx}$	Energy consumed to reception
$P$	The number of bits in a packet
$a$	Energy consumption of the transmit electronics
$\beta$	Energy consumption of the transmit amplifier
$\delta$	Transmission distance
$r$	Communication radius
$c$	Distance from center
$N$	Number of all nodes
$N_i$	Number of nodes in cluster $i$

3.3 헤드 노드 교체 알고리즘

제안하는 알고리즘은 기존의 연구들처럼 셋업과 안정 단계로 구성된다. 일반적으로 에너지 잔량( $e_i^{re}$ )이 높으면 헤드 노드가 될 가능성이 높으며, 중심에서의 거리( $r - c_i$ )가 가까울수록 송수신에 에너지 소모가 작을 것이다. 그리고 생존 노드의 밀도( $d_i$ )가 높으면 전송해야 할 데이터가 많으므로 헤드 노드로 선택되는 것이 당연하다. 따라서 셋업 단계에서는 이 세 가지 요소를 고려하여 각 센서 노드들의 가중치 값인  $w_i$  를 계산하여 각 노드에 할당하는데 이 가중치에 의해 CH 가 결정된다. LEACH 처럼 실제 CH 의 개수에 의존하지 않고 생존 센서의 최대  $x\%$  가 CH 가 될 수 있다. 이 값이 높으면 CH 가 많아지고 낮으면 CH 는 작아질 것이다. CH 가 아닌 노드는 자기에서 가장 가까운 CH 로 데이터를 전송한다. 또한 제안하는 알고리즘에서는 이전 라운드에서 헤드노드인지 아닌지는 고려하지 않는다.

따라서 각 노드의 가중치는 아래의 수식 2에 의해 결정된다. 이 식에서  $d_i$  는 그리드 내의 총 센서에서 생존 센서의 수의 비율을 나타낸다.

$$w_i = e_i^{re} \times (r - c_i) \times d_i \tag{2}$$

이 식이 의미하는 것은 가중치  $w_i$  값이 높은  $x\%$  의 노드가 CH 후보가 된다는 것을 나타내고 에너지 잔량이 높을수록, 중심에서 가까울수록, 그리고 생존 센서들이 밀집해 있는 공간에 배치된 노드들이 헤드

노드가 될 가능성이 높음을 나타낸다.

각 라운드에서 가중치가 결정되었으면 현재의 헤드를 교체할 것인지를 결정해야 하는데 본 연구에서는 임계치를 도입한다. 우선 각 센서들은 멤버노드로서 몇 번의 라운드가 가능한지는 수식 3과 같이 각 센서의 에너지 잔량을 CH 로 패킷을 한번 보내는데 필요한 에너지로 나누면 구할 수 있다. 이  $R_i^{re}$  값은 모든 노드마다 다양한 분포를 보일 것이고 헤드 교체 여부는 이 값에 의존할 수 있다.

$$R_i^{re} = \frac{e_i^{re}}{E_{tx}} \quad (3)$$

따라서 임계치 값인  $Th_i$  는 아래의 수식 4처럼 매 라운드 패킷을 송수신하는데 필요한 에너지 값에 의해 좌우된다. 이 식에서  $P_{tx}$  는 송신 비트수이고,  $P_{rx}$  는 수신 비트수이다.  $Th_i$  값은 모든 노드들이 서로 다른 값을 가지므로 본 연구에서는 현재의 노드가 멤버노드의 평균값보다 작으면 교체하도록 한다.

$$Th_i = R_i^{re} \times (P_{tx} + P_{rx}) \times E_{tx} \quad (4)$$

```

replacement() {
1: for all node {
2:  $d_i = \frac{\text{umber of alive nodes}}{\text{umber of all nodes}}$ ;
3:  $w_i = e_i^{re} \times (r - c_i) \times d_i$ ;
4:  $Th_i = R_i^{re} \times (P_{tx} + P_{rx}) \times E_{tx}$ ;
}
5:  $Th^{average} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Th_i$ ;
6: if ( $Th$  of current CH <  $Th^{average}$ ) {
7: j = find Maximum  $w_i$ ;
8: new CH = node j;
} else
9: no replacement;
}
    
```

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

그림 2는 헤드노드 교체 알고리즘을 나타내고 있는데 매 라운드 마다 교체 여부를 결정한다. 클러스터

멤버 노드들이 데이터를 보내고 CH 가 싱크노드 또는 베이스 스테이션으로 데이터를 보내고 나면 그림 2의 교체 알고리즘을 수행한다. 모든 노드에 대하여 2 번 라인과 같이 생존 센서의 밀도  $d_i$  를 계산하고 에너지 잔량, 중심에서의 거리, 밀도에 기반하여 라인 3~4번과 같이 가중치  $w_i$  와 임계치  $Th_i$  를 계산한다. 라인 5에서 임계치의 평균값을 계산하여 현재 헤드노드가 이 값보다 작으면 라인 7과 같이 최대  $w_i$  를 찾아서 새로운 헤드노드로 결정하고 헤드 교체를 수행한다. 만약 평균 보다 크면 교체를 하지 않는다.

#### IV. 실험결과

임계치 기반으로 클러스터 헤드를 교체하는 기법의 성능 평가를 위해 매트랩과 시뮬링크에서 실험 환경을 구축하였다. 본 논문의 센서노드 칩은 Chipcon CC2420 RF를 가정하고 250kbps 전송 속도하에서 전송시는 17.4mA, 수신시는 19.7mA가 소모되는 것으로 계산하였다. 네트워크의 크기는 100×100m에 300개의 센서를 배치하였으며, 초기 에너지는 5J, 패킷의 사이즈는 32바이트이다. 수집하는 데이터는 온도 데이터를 가정하였고 실제 환경을 최대한 반영하기 위해서 SensorScope에서 실측한 데이터 중 온도 데이터만 추출하였는데 이 데이터는 18개 기상국에서 43일간 수집한 기상데이터이다.

제안 기법(Threshold-based delay replacement: TDR)의 성능평가를 위한 비교 대상으로는 매 주기마다 헤드를 교체하는 방법(NDR: No delay replacement), 에너지 잔량이 남은 라운드 동안 멤버 노드로 살아남을 수 있으면 교체하지 않는 방법(MDR: Maximum delay replacement)을 선택하였다. NDR은 기존의 연구들에서 채택한 방법이고 MDR은 최대한 교체를 하지 않는 방법이다.

표 2는 각 기법의 실험 결과를 정리한 것이다. 모든 기법에서의 결과 값은 10,000 라운드를 100번 실행하여 평균한 값으로 NDR은 6,157, MDR 은 8,996, TDR은 8,905 라운드 동안 생존하였다. MDR 이 TDR 보다 더 생존하였으나 미미한 차이이다. NDR 은 매 라운드 교체로 가장 먼저 네트워크가 소멸한 것으로 분석된다. 헤드 교체의 수는 NDR 이 매 라운

드 교체하므로 가장 높게 나왔으며 TDR 은 MDR 의 두 배 정도 많은 교체를 수행하였다. 주목할 부분은 LND-FND 값이 MDR 이 가장 높은 값을 보이고 있는 것인데 이는 교체 시기를 최대한 늦추기 때문에 첫 번째로 정지하는 노드가 가장 빨리 나타나는 것이다. 그리고 NDR 의 값이 가장 작은데 이것은 소멸 라운드가 6,157로서 만약 TDR 의 LND 값으로 환산하면 TDR 보다 LND-FND 값이 높게 나타나므로 의미가 없다.

표 2. 각 기법의 실험 결과  
Table 2. Simulation results

	NDR	MDR	TDR
rounds	10,000	10,000	10,000
alive round	6,157	8,996	8,905
replacement	6,156	460	995
FND	4,950	348	6,344
LND	6,156	8,995	8,904
LND-FND	1,206	8,647	2,560

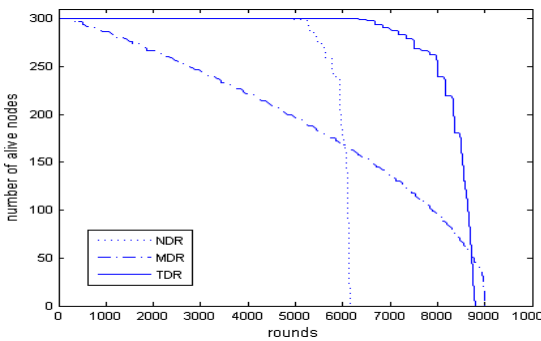


그림 3. 라운드당 생존 노드 수  
Fig. 3 Number of alive nodes per rounds

그림 3은 라운드당 생존 노드의 수를 나타낸 그래프이다. MDR 은 헤드 교체를 미루지만 특정 노드에 에너지 소모가 집중되어 실험이 진행될수록 생존 노드의 수가 NDR, TDR 에 비해 급격히 감소하고 있다. NDR 은 5,000 라운드까지는 TDR 과 거의 비슷한 성능을 보이지만 이후 부터는 생존 노드의 수가 급격히 감소하여 제일 먼저 네트워크가 소멸되었다.

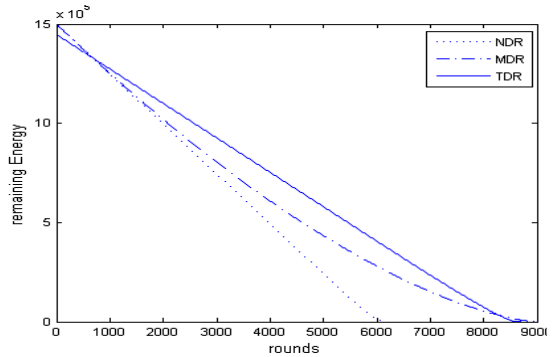


그림 4. 라운드당 에너지 잔량  
Fig. 4 Remaining energy per rounds

그림 4는 라운드당 모든 노드의 에너지 잔량의 합을 나타낸 그래프이다. 1000 라운드가 되기 전에는 MDR 이 헤드교체를 거의 하지 않으므로 에너지 잔량이 높게 나오며 NDR 은 매 라운드 교체로 인하여 제일 먼저 에너지가 소멸되었다. 라운드가 진행될수록 TDR 의 에너지가 MDR 보다 높게 나오는 데 이것은 실험 초기에 특정 노드들에 집중된 에너지 소모로 인하여 실험이 진행될수록 헤드 노드 선택에 따른 부하가 누적되기 때문이다.

그림 3, 그림 4의 실험 결과는 헤드 노드의 교체 주기에 따라 네트워크의 생존과 에너지 잔량에 크게 영향을 미친다는 것으로 나타난다. 빈번한 교체는 노드의 에너지 소모가 급격히 증가함을 나타내고 반대로 하나의 노드에 집중시키는 것은 FND 의 시기가 너무 빠르게 되어 노드의 에너지 불균형을 초래한다. 따라서 적절한 교체시기를 제시하는 TDR 기법은 네트워크의 생존 시간뿐만 아니라 노드 사이의 에너지 균형을 획득할 수 있는 것으로 분석된다.

## V. 결론

사물인터넷의 네트워크는 센서 노드를 통해 실시간으로 정보를 전송하므로 데이터의 지속적인 수집과 센서 네트워크의 생존 시간이 중요한 이슈이다. 이를 해결하기 위해 센서 노드를 클러스터링하여 데이터를 전송하는 기법들이 다수 제안되었는데 주로 헤드 노드의 교체 기법에 주안점을 두었다. 본 연구에서는 교체 기법뿐만 아니라 교체 주기도 고려하는 기법을 제

안하였다. 구체적으로는 센서 노드의 에너지 잔량, 생존 센서의 밀도, 위치, 그리고 임계치 값을 이용하여 헤드노드를 선택하고 교체 여부를 결정하였다. 실험 결과 임계치를 기반으로 헤드노드를 교체하는 기법은 네트워크의 생존 시간을 최대화하고 센서 노드들 사이의 에너지 균형을 확인할 수 있었다.

향후 연구로는 실험 결과를 바탕으로 실제 환경에서 제한한 기법을 적용하고 기능을 확장하는 것이다.

## References

- [1] D. Jeon, "Design of an Efficient Power Manger through the cooperative Dynamic Power Management for Ad hoc Wireless Sensor Networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 6, 2011, pp. 809-814.
- [2] S. Kim, "Implementation of Zigbee/PLC Gateway System for U-Health Care," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 3, 2010, pp. 332-338.
- [3] H. Lee, "A Study On Ubiquitous Sensor Network Technologies," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 1, 2009, pp. 68-74.
- [4] W. B. Heinzelman, "An application-specific protocol architectures for wireless networks," Ph.d's Dissertation, *Massachusetts Institute of Technology, Cambridge*, 2000.
- [5] M. Arati and D. P. Agrawal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," In *15th Int. Parallel and Distributed Processing Symp. Workshops*, vol. 3, San Francisco, USA, Apr. 2001, pp. 301-311.
- [6] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," In *Proc. the 33rd Annual Hawaii Int. Conf. on System Sciences*, Hawaii, USA, Jan. 2000, pp. 223-233.
- [7] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed clustering in Ad-hoc sensor networks: A hybrid, energy-efficient approach," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 3, 2004, pp. 366-379.
- [8] H. Özgür Tan and I. Körpeoglu, "Power efficient data gathering and aggregation in wireless sensor networks," *ACM SIGMOD*, vol 32, no. 4, Dec. 2004, pp. 66-71.
- [9] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power efficient gathering in sensor information systems," In *Proc. IEEE Aerospace Conf., Big sky, USA*, Mar. 2002, pp. 1125-1130.
- [10] A. K. Pathan and S. Hong, "A secure energy efficient routing protocol for WSN," In *Int. symp. on parallel and distributed processing and applications*, Niagara Falls, Canada, Aug. 2007, pp. 407-418.
- [11] A. Soheili, V. Kalogeraki, and D. Gunopulos, "Spatial queries in sensor networks," In *Proc. the ACM Int. workshop on geographic information systems*, Bremen, Germany, Nov. 2005, pp. 61-70.
- [12] S. S. Furlaneto, "An efficient data acquisition model for urban sensor networks," *IEEE/IFIP network operations and management symp.*, Hawaii, USA, Apr. 2012, pp. 113-120.
- [13] S. Eo, H. Pandey, M. Kim, Y. Oh, and H. Bae, "FDSI-tree: a fully distributed spatial index tree fo efficient & power-aware range queries in sensor networks," In *Int. Conf. on current trends in theory and practice of computer science*, Merin, Czech Republic, Jan. 2006, pp. 2230-2237.

## 저자 소개



### 김정원(Jeong-Won Kim)

1995년 부산대학교 전자계산학과 졸업(이학사)

1997년 부산대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학석사)

2001년 부산대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학박사)

2002년~현재 신라대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 모바일컴퓨팅, 임베디드시스템, 사물인터넷, 유비쿼터스 컴퓨팅

