

하이브리드 셋업을 이용한 에너지 효율적 센서 네트워크 클러스터링

An Energy-Efficient Sensor Network Clustering Using the Hybrid Setup

민홍기*

Hong-Ki Min*

요약

센서 네트워크에서 사용되는 동적 클러스터링 방식은 주기적으로 클러스터 구조가 바뀌는 셋업과정으로 인한 에너지 소모가 크다. 셋업과정은 보안적용을 해야 할 경우 보안 키가 주기적으로 재 생성되는 등 클러스터 구성 이외에 추가적인 에너지 낭비가 발생한다. 본 논문은 최초로 구성된 클러스터 알고리즘과 이후 반복적으로 발생하는 클러스터 재셋업 알고리즘을 달리하는 하이브리드 방식을 제안한다. 재 셋업에서는 고정된 클러스터 내에서 순환적으로 클러스터 헤드노드를 선출하는 순환적 클러스터 헤드선정(RRCH: Round-Robin Cluster Header)방식을 이용하여 에너지 소모를 줄인다. 보안키 생성 및 적용으로 추가되는 에너지 소모는 클러스터가 지속적으로 고정되기 때문에 최초 클러스터 형성 때 사전 배포하는 방식으로 해결된다. 본 논문에서 제안한 방식의 타당성을 확인하기 위해 모의실험을 실시하였다. 라운드 구간을 100번 반복하여 클러스터 구성과 데이터 전송을 포함한 전체 에너지 소모량을 측정하였다. 결과는 제안한 방식이 LEACH방식보다 평균 26.5%, HEED방식보다 평균 20% 적게 소모되는 것을 확인하였다.

Abstract

Cluster-based routing is high energy consumption of cluster head nodes. A recent approach to resolving the problem is the dynamic cluster technique that periodically re-selects cluster head nodes to distribute energy consumption of the sensor nodes. However, the dynamic clustering technique has a problem that repetitive construction of clustering consumes the more energies. This paper proposes a solution to the problems described above from the energy efficiency perspective. The round-robin cluster header(RRCH) technique, which fixes the initially structured cluster and sequentially selects cluster head nodes, is suggested for solving the energy consumption problem regarding repetitive cluster construction. A simulation result were compared with the performances of two of the most widely used conventional techniques, the LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) and HEED(Hybrid, Energy Efficient, Distributed Clustering) algorithms, based on energy consumption, remaining energy for each node and uniform distribution. The evaluation confirmed that in terms of energy consumption, the technique proposed in this paper was 26.5% and 20% more efficient than LEACH and HEED, respectively.

keywords : cluster, sensor network, routing, data transmit

I. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 사람의 손길이 닿지 않는 다양한 환경에 적용이 된다. 그러므로 센서 네트워크는 스스로 라우팅을 하여야 한다. 최근 사용되는 라우팅 방식은 에너지 소모측면에 효율성이 좋은 클러스터 방식의 라우팅이 사용되고 있다[1,2,3,4]. 클러스터 방식은 클러스터 헤드노드로 데이터가 집중되기 때문에 클러스터 헤드노드가 클러스터

멤버노드에 비하여 많은 양의 에너지를 소비한다. 따라서 각 노드의 에너지 소모를 균일하게 하기 위하여 주기적으로 클러스터 헤드노드를 재 선출하며, 새로운 클러스터 헤드노드에 따른 클러스터를 재구성 하여야 한다. 이를 동적 클러스터(dynamic cluster) 방식이라고 한다. 대표적인 동적 클러스터 방식의 라우팅은 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)방식과 HEED(Hybrid, Energy Efficient, Distributed Clustering)방식이 대표적이다[5,6,7,8].

LEACH와 HEED는 에너지 효율은 좋으나 반복적인 클러스터 재구성에 따른 에너지 소모는 여전하다. 즉, 클러스터 헤드노드와 클러스터 멤버노드 간의 에너지 불균형을 해결하기 위해 클러스터 구성을 바꿔주는 셋업과정이 반복적으로 존재하는 문제가

* 인천대학교

투고 일자 : 2011. 1. 6 수정완료일자 : 2011. 2. 1

게재확정일자 : 2011. 2. 2

* 이 논문은 인천대학교 2009년도 자체연구비 지원에 의하여 연구 되었음.

있다. 셋업과정은 클러스터 헤드노드를 교체하고 클러스터 헤드노드에 최적화된 클러스터 멤버노드를 선정하는 복잡한 과정으로 에너지 소모가 크다. 지금까지 클러스터 방식의 라우팅에 대한 연구는 데이터 전송에 대한 에너지 효율 측면만을 제시하였을 뿐, 에너지 소모가 큰 클러스터 구성 자체가 반복적으로 일어나는 부분은 언급하지 않고 있다. 또한 보안 적용을 위해 보안 키 교환 알고리즘이 추가되면 에너지 소모는 더욱 커진다. 보안 키 교환이 에너지 소모가 큰 셋업과정에서 일어나기 때문이다.

본 논문은 반복적인 클러스터 구성에 대한 에너지 소모 문제는 초기의 셋업 이후에 발생하는 클러스터 구성방법을 간략화 하여, 적은 에너지 소모가 있게 하는 RRCH(Round-Robin Cluster Header)방식을 제안한다. RRCH방식은 초기셋업에서 생성된 클러스터는 고정하고, 이후 반복적인 셋업에서 클러스터 헤드노드만 순환적으로 교체하는 방식이다. 클러스터 변경에 따른 보안 키의 재생성과 공유로 인한 에너지 소모는 초기에 구성된 클러스터를 고정시킴으로서 최초로 생성 및 교환된 클러스터 키와 노드간 키가 다시 생성 및 교환되지 않게 되므로 반복적으로 발생하지 않는다[9,10,11].

본 논문에서 제안한 방식의 타당성을 확인하기 위해 모의실험을 실시하였다. 모의실험은 제안방식과 기존의 대표적인 클러스터링 방식인 LEACH방식 그리고 HEED방식에 대하여 평가하였다. 보안방식은 센서네트워크에 최적화된 SPINS와 LEAP의 방식을 대상으로 비교평가 하였다.

라운드구간을 100번 반복하여 클러스터 구성과 데이터 전송을 포함한 전체 에너지 소모량을 측정하였다. 측정결과 본 논문에서 제안한 방식이 LEACH방식보다 평균 26.5%, HEED방식보다 평균 20% 적게 소모되는 것을 확인하였다.

II. 클러스터 기반 라우팅과 전력 소모량

2.1. 클러스터 기반 라우팅

대표적인 클러스터 기반 라우팅 프로토콜로는 LEACH방식이 있다. 그림 1에서와 같이 LEACH방식은 다수의 라운드(round) 구간으로 구성되어 있고, 라운드는 셋업과 다수의 프레임으로 구성된다.

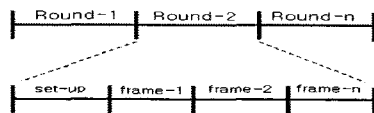


그림 1. 동적클러스터링의 생명주기
Fig. 1. Life time of dynamic clustering

셋업 부분은 클러스터를 구성하는 부분으로 클러스터 헤드노드(CH)를 식 (1)과 같이 초기 확률 값에 의해 선정하고, 그에 최적화된 클러스터 멤버노드(CM)들을 선정하는 과정이다. 클러스터 멤버노드들은 선정된 클러스터 헤드 노드들이 최초로 보낸 신호(ADV:Advertisement) 중 수신강도가 가장 강한 곳을 자신의 클러스터 헤드노드로 선정하여 Join-REQ라는 응답 메시지를 전송

한다. Join-REQ를 받은 클러스터 헤드노드는 각 클러스터 멤버노드의 TDMA(Time Division Multiple Access) 스케줄을 생성하여 클러스터 내의 모든 멤버노드에게 전송한다.

$$T(i) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P(r \bmod \frac{1}{P})} \\ 0 \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 i 번째 센서노드의 T (threshold)를 구하는 방법은 확률 값 P 와 라운드 수 r 을 사용하여 계산된다.

프레임 부분은 클러스터 멤버노드가 센싱한 데이터를 클러스터 헤드 노드에게 보내고, 클러스터 헤드노드는 수신된 데이터를 취합하여 BS(Base Station)에 보내는 과정이다. 프레임 내에서 클러스터 노드는 스케줄링에 의해 TDMA(Time division Multiple Access)방식으로 클러스터 멤버노드로 부터 데이터를 받는다.

그림 2는 클러스터 헤드노드를 선정 후 클러스터 헤드노드들과 클러스터 멤버노드들의 동작과정을 표현한 것이다. 셋업 과정의 경우 클러스터 헤드 노드는 송신과정 2회와 수신과정 1회로 구성되어 있다. 송신은 ADV를 보내는 과정과 스케줄정보(schedule information)를 보내는 과정이고, 수신은 ADV의 응답 메시지인 Join-REQ를 수신하는 과정이다. 클러스터 멤버노드는 송신과정 1회와 수신과정 2회로 구성되어 있다. 송신은 Join-REQ를 보내는 과정이고, 수신은 ADV를 수신하는 과정과 스케줄 정보를 수신하는 과정이다. 프레임 과정의 경우 클러스터 헤드 노드는 송신과정 1회와 수신과정 1회로 구성되어 있다. 수신은 클러스터 멤버노드들이 획득한 데이터를 보낸 것에 대한 수신이고 송신은 수신된 데이터를 취합하여 기지국(BS)에게 보내는 과정이다. 클러스터 멤버노드는 오직 송신과정 하나만 존재한다. 송신은 획득한 데이터를 클러스터 헤드 노드에게 전송하는 과정이다.

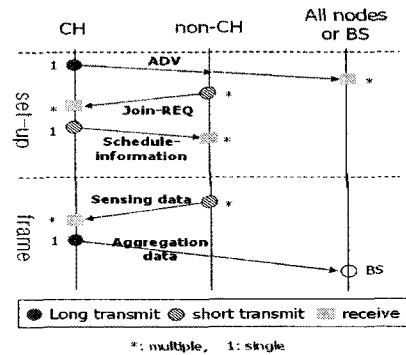


그림 2. 셋업과 프레임 시나리오
Fig. 2. Setup and frame scenario

2.2. LEACH에서 보안 키 교환 방법

```

//---- setup state -----
LOOP
1) CH → * :  $id_{ch}, N_{ch}, MAC(mk, id_{ch} | N_{ch})$ 
2) CM → BS:  $N_{req}, id_{ch}, N_{ch}, (mk, id_{ch} | N_{ch} | N_{req})_{ik_{cm}}$ 
3) BS → CM:  $res, MAC(mk, N_{req} | res)$ 
4) CM → CH:  $id_{cm}, C, MAC(mk, N_{ch} | id_{cm} | C)$ 
//--Sharing key: Counter, ck, pk -----
5) CH → BS:  $Chfo, C_g, MAC(mk, Chfo | C_g)$ 
6) BS → GN:  $(C, ck, pk)_{ik}, MAC(mk, (C, ck, pk)_{ik})$ 
7) CH → CM:  $TDMA_{(pk, c)}, MAC(mk, C | TDMA_{(pk, c)})$ 
//---- frame state -----
LOOP
8) CM → CH:  $D_{(pk, c)}, MAC(mk, C | D_{(pk, c)})$ 
9) CH → BS:  $D_{(ik, c)}, MAC(mk, C | D_{(ik, c)})$ 
END LOOP
END LOOP
    
```

그림 3. 보안을 적용한 LEACH 프로토콜
Fig. 3. LEACH protocol with security method

그림 3은 대표적인 클러스터 방식인 LEACH에 SNEP보안과 LEAP보안을 적용한 알고리즘 이다[12.13].

Setup State:

셋업상태는 라인 1에서 모든 노드가 확률함수를 이용하여 랜덤하게 CH를 선정하고 BS를 포함한 모든 노드에게 자신의 id와 랜덤값을 MAC값과 함께 전달한다. 이때 BS와 전체그룹노드(GN)만이 알고 있는 MAC키가 MAC에서 사용된다. CH의 모든 정보를 수신한 CM은 수신강도가 가장 큰 CH를 선정하여 클러스터를 구성한다. CM은 수신한 정보의 신뢰를 위해 라인 2처럼 BS에게 수신한 정보와 랜덤값 그리고 MAC값과 함께 다시 보낸다. 이때 CM과 BS간의 통신도 MAC키가 포함된 MAC함수가 사용된다. 라인 3은 BS가 CM에게 요청받은 정보의 결과를 전달하는 과정으로 요청한 랜덤값과 결과값을 MAC함수로 연산하여 전달한다. CM은 이를 수신하여 확인하고 라인 4 처럼 자신의 CH로 선정된 센서노드에게 자신의 id와 카운터 값을 전달한다. 이때 CM은 처음 수신한 값, 자신의 id, 카운터 값, MAC값을 함께 전달하여 CH가 확인할 수 있게 한다.

Sharing Key:

라인 5는 CH가 BS에게 자신이 수집한 클러스터의 모든 센서노드의 id와 카운터 값의 집합을 전달한다. 이때 CH와 BS간의 통신은 MAC키가 포함된 MAC정보가 사용된다. 모든 정보를 수신한 BS는 클러스터 키를 생성하고 클러스터 내의 모든 센서노드의 카운터 값 C와 노드간 키를 생성하여 라인 6처럼 모든 노드

에게 전달한다. 이때에는 데이터의 암호를 위해 개인 키가 사용된다. 이후 CH는 CM에게 TDMA 스케줄정보를 생성하여 라인 7처럼 개인 키로 암호화 하여 전송한다.

Frame State:

다음으로 프레임상태는 라인 8에서는 클러스터 내의 CM들이 TDMA방식으로 자신의 데이터 송신 슬롯에 해당될 때 실제 데이터를 센싱하고 CH에게 암호화하여 전송하는 부분이다. 이때 CM과 CH사이에 노드간 키가 사용된다. 라인 9에서처럼 클러스터 내의 CM들에게 데이터를 수신한 CH는 데이터를 취합하여 BS에게 암호화하여 전송한다. CH와 BS사이는 개인 키가 사용된다. 라인 8과 라인 9는 일정시간 반복적으로 일어난다.

2.3. 전력 소모량 계산 방법

클러스터 방식에서의 전력 소모량은 클러스터 멤버노드가 클러스터 헤드노드에게 송신하는 짧은 거리 송신(tx_{short})과, 클러스터 헤드노드가 BS에 송신하는 먼 거리 송신(tx_{long})은 식 (2)로 표현되고, 클러스터 헤드노드가 클러스터 멤버노드의 획득 데이터를 수신(rx)하는 것은 식 (3)으로 표현된다.

$$E_{tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + lE_{mp}d^4: tx_{long} \\ lE_{elec} + lE_{fs}d^2: tx_{short} \end{cases} \quad (2)$$

$$E_{rx}(l) = lE_{elec} \quad (3)$$

여기서 l 은 데이터 크기, E_{elec} 은 전자에너지 (electronics energy), E_{mp} 는 먼 거리 송신을 위한 증폭에너지(amplifier energy - multipath model), d 는 BS까지의 거리, E_{fs} 는 짧은 거리 송신을 위한 증폭에너지(amplifier energy - free space model)이다.

III. 제안방식 알고리즘

본 논문의 특징은 클러스터 구성에 있어서 초기의 셋업 이후에 발생하는 반복적인 셋업을 효율화 하여 에너지 소모를 줄이는 것이다. 반복적인 셋업을 효율화하는 방법으로 최초의 셋업에서 교환된 정보를 이후 반복적인 셋업에서 최대한 활용하여 최소의 정보만 교환하는 방법을 제시한다.

3.1. 제안방식의 제 셋업 알고리즘

그림 4는 제안방식의 셋업을 표현한 것이다. 그림 4(a)에서 보는 것처럼 초기셋업은 전통적인 방식과 다를 바 없지만, 이후 반복적으로 발생하는 셋업 부분은 그림 4(b)처럼 송신 및 수신과정을 단순하게 하였다.

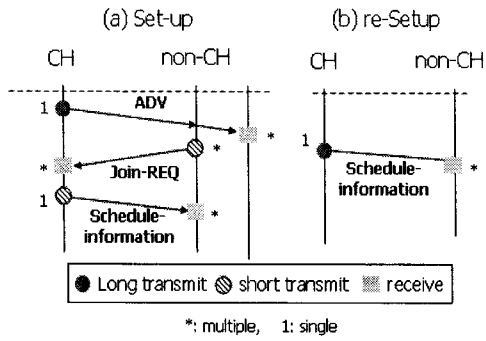


그림 4. 제안방식의 셋업과 재셋업 과정
Fig. 4. Setup and Re-setup of proposed protocol

제안방식의 최초의 셋업과정을 살펴보면, 확률함수를 이용하여 클러스터 헤드노드가 선출되고, 선출된 클러스터 헤드노드는 자신의 노드 id가 있는 ADV(Advertisement message)를 모든 센서노드에 브로드캐스트(broadcast)시킨다. 모든 센서노드는 ADV를 수신하여 수신강도가 가장 큰 클러스터 헤드노드를 자신의 클러스터 헤드노드로 선정하여, 자신의 노드 id가 있는 Join-REQ라는 응답메시지를 클러스터 헤드노드에게 보낸다. 이후 클러스터 헤드노드는 자신이 관리하는 클러스터내의 모든 노드의 id를 알 수 있으므로 이를 근거로 클러스터 멤버노드의 TDMA (Time Division Multiple Access) 스케줄정보를 생성하여 클러스터 멤버노드에게 알린다. 클러스터 멤버노드는 이 TDMA 스케줄정보를 근거로 자신의 순서에 맞추어 획득한 데이터를 클러스터 헤드에게 전송하게 된다.

```

1) round_count = 1;
2) LOOP round_count + 1;
3) IF CH THEN // CH 경우
4) update_schedule();
5) send(next_ch_id,schedule_info);
6) ELSE // non-CH 경우
7) waiting until ch_send_event;
8) receive(next_ch_id,schedule_info);
9) update_tdma_schedule();
10) END IF
11) END LOOP
    
```

그림 5. 제안방식의 재셋업 과정 프로토콜
Fig. 5. Re-setup protocol of proposed method

이후 다음 라운드가 시작되어 재 셋업이 일어나는 시점이 되면 초기에 형성된 클러스터는 고정된 상태에서 그림 5에서처럼 현재의 클러스터 헤드노드가 비정상노드의 정보를 제거한 스케줄정보를 재생성하여 클러스터 내의 노드들에게 전달하는 라인 4와 라인 5의 과정과, 수정된 스케줄정보를 받은 클러스터 멤버노드들이 자신의 TDMA정보를 수정하는 라인 8과 라인 9의 과정만 존재한다. 스케줄정보 전송 시에는 다음에 클러스터 헤드가 되는 노드의 id를 포함하여 클러스터내의 모든 노드에게 라인 5처럼 알려주게

된다. 다음 클러스터 헤드노드는 노드 id에 따라 순환방식으로 제어권이 넘어가며, 다음 노드가 비정상 노드일 경우는 그 다음 노드 id로 제어권이 넘어간다.

3.2. 제안방식의 보안 키 교환 알고리즘

제안방식의 키 교환방식은 셋업과정과 키 교환과정 그리고 프레임 과정이 LEACH방식에 보안을 적용한 것과 동일하다. 하지만 제안방법은 클러스터가 지속적으로 유지되기 때문에 클러스터 내에서 사용하는 클러스터 키는 재생성 및 교환이 필요하지 않다. 또한 효율적인 클러스터 수는 5%이므로 클러스터 내의 노드 수는 20개 정도가 된다. 그러므로 CH와 CM간의 노드간 키도 최초셋업에서 모두 생성하여 각 노드가 모두 보유하고 있을 수 있다.

제안된 보안 클러스터 라우팅 방식에서 키의 생성과 교환은 초기셋업에서 다 이루어진다. 개인 키와 MAC키의 경우는 센서노드를 초기에 배포할 때 설정된 마스터 키로 스스로 생성되기 때문에 교체가 필요 없고, 클러스터 키와 노드간 키는 초기셋업 과정에서 생성되어 배포된다. 일반적인 클러스터 방식이 셋업에서 CH와 클러스터정보가 변하기 때문에 클러스터 키와 노드간 키 그리고 암호화시 사용되는 카운터 값은 다시 생성 및 교환이 필요하다. 그러나 제안된 방식은 초기셋업 이후에 반복되는 재 셋업에서 클러스터가 변화하지 않기 때문에 클러스터 키의 생성과 교환은 필요가 없다.

IV. 실험 및 고찰

제안된 방식의 타당성을 확인하기 위해 NS-2시뮬레이터와 Tcl 및 C++ 프로그램을 사용하여 모의실험을 하였다. 이 때 실험 환경은 표 1과 같다.

LEACH방식에 보안을 적용한 방식인 LEACH-sec방식과 HEED방식에 보안을 적용한 방식인 HEED-sec방식 그리고 RRCH방식에 보안을 적용한 방식인 RRCH-sec방식과의 에너지 소모량을 비교하여 보았다. 라운드별 활동 중인 센서노드의 수는 표 2과 그림 6으로 표현된다.

표 1. 시뮬레이션 값

Table 1. Parameter of simulation

항목	값
<i>Eelec</i>	50 nJ/bit
<i>Efs</i>	10 pJ/bit/m ²
<i>Emp</i>	0.0015 pJ/bit/m ⁴
<i>l</i>	512 bit
<i>lm</i>	50 bit
<i>k</i>	5
<i>N</i>	100
<i>M</i>	100
<i>S</i>	20
<i>n</i>	5
<i>Heed에서의 전송반경</i>	40 m

그림 6에서 LEACH방식과 HEED방식에 보안을 적용하게 되면 네트워크 수명이 급격하게 줄어드는 반면에 RRCH방식에 보안을 적용한 것은 네트워크 수명이 LEACH-sec방식과 HEED-sec방식에 비해 긴 것을 확인할 수 있다. 최초의 센서노드가 죽는 시점이 RRCH-sec방식이 LEACH-sec방식에 비해 1.7배 길고 HEED-sec방식보다 1.4배 긴 것을 확인하였다.

표 2. 라운드 당 생존 센서노드의 수

Table 2. Number of node still alive per round with security method

round	LEACH -sec	HEED -sec	RRCH -sec
70	100	100	100
80	99	100	100
90	99	100	100
100	98	99	100
110	97	99	100
120	94	98	100
130	89	95	100
140	86	92	99
150	69	84	99

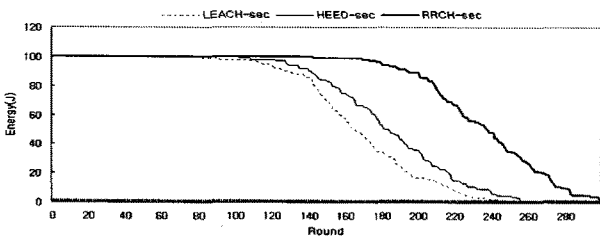


그림 6. 라운드 당 생존 센서노드의 수

Figure 6. Number of node still alive per round with security method

이결과는 LEACH방식과 HEED방식에 보안을 적용시킬 경우 매번 셋업마다 키 교환 과정이 있으므로 에너지 소모가 크기 때문이다. 반면에 RRCH-sec방식은 초기에 키 교환이 모두 일어나므로 라운드를 반복한다고 해서 급격하게 에너지 소모가 증가하지 않는다.

표 3과 그림 7은 LEACH방식과 HEED방식 및 RRCH방식에 보안 키 교환을 적용한 것에 대한 라운드 증가에 따른 전체 에너지 소모량을 표현한 것이다. RRCH방식에 보안을 적용한 것은 셋업이 반복적으로 일어나지 않으므로 라운드가 증가할수록 LEACH-sec방식 보다 26.5% 에너지 소모가 적고, HEED-sec방식보다 20% 에너지 소모가 적다.

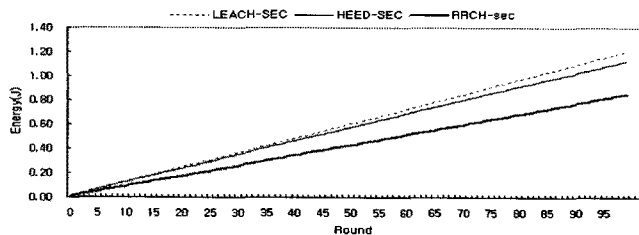


그림 7. 라운드 당 에너지 소모량 비교

Figure 7. Total energy consumption per round with security method for sensor field-1

표 3. 라운드 당 에너지 소모량 비교

Table 5.9 Total energy consumption per round with security method

Round	LEACH-SEC	HEED-SEC	RRCH-SEC	Reduction(%)	
				vs LEACH	vs Heed
10	0.1223	0.1124	0.0896	26.8	20.3
20	0.2438	0.2210	0.1784	26.8	19.3
30	0.3643	0.3312	0.2695	26.0	18.6
40	0.4852	0.4469	0.3572	26.4	20.1
50	0.6086	0.5616	0.4460	26.7	20.6
60	0.7276	0.6730	0.5368	26.2	20.2
70	0.8503	0.7807	0.6275	26.2	19.6
80	0.9711	0.8954	0.7139	26.5	20.3
90	1.0899	1.0068	0.8012	26.5	20.4
100	1.2119	1.1216	0.8897	26.6	20.7
			Average	26.5	20.0

V. 결론

본 논문은 센서 네트워크에서 에너지 효율화를 위하여 클러스터 구성을 처음과 이후 반복되는 곳에서 서로 알고리즘을 달리 하는 하이브리드 셋업을 제안하였다.

클러스터 하이브리드 기법은 클러스터의 초기 구성 이후에 발생하는 반복적인 클러스터 재구성을 효율화 하는 방식이다. 그러므로 기존의 LEACH방식 및 HEED방식처럼 최초 구성이 그대로 반복되는 것에 비해 에너지 소모가 적다. 제안방식은 초기에 구성된 클러스터는 고정하고 클러스터 헤드노드의 교체만으로 각 센서노드의 에너지 소모 균형을 이루는 방식으로 알고리즘이 간단하며 에너지 소모가 적다. 또한 보안 적용시 발생하는 보안 키 배포를 포함하게 되면 더욱 에너지 효율을 이룰 수 있다. 본 연구에서는 한번 구성된 클러스터는 고정된 상태에서 클러스터 헤드노드의 교체만 이루어지게 된다. 그러므로 최초에 한번 공유된 클러스터 키와 노드간 키는 이후 재생성과 공유가 일어나지 않게 된다.

라운드구간을 100번 반복하여 클러스터 구성과 데이터 전송을 포함한 전체 에너지 소모량을 측정하여 보았다. 평가결과 제안방식은 기존의 LEACH방식보다 평균 26.5%, HEED방식보다 평균 20% 적게 소모되는 것을 확인하였다. 또한 각 센서노드의 에너지 소모 편차도 LEACH방식과 HEED방식 보다 적음을 확인하였다.

제안방식은 클러스터 구성을 최초에 한번만 하므로 처음의 클러스터 구성이 중요하다. 그러므로 클러스터의 초기 구성에 있어서 클러스터 헤드노드의 분포와 클러스터의 밀도를 고려한 최적화된 클러스터링에 대한 연구가 필요하다. 또한 클러스터 헤드노드의 선정에 있어서도 단순 순환적 선택이 아니라 잔존에너지를 고려한 선택방법의 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] I.Akyildiz, W.Su, Y.Sankarasubramaniam, and E.Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, Volume: 40 Issue: 8, pp.102-114, August 2002.
- [2] W.R.Heinzelman, J.Kulik, H.Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks", Proceedings of the ACM MobiCom'99, Seattle, Washington, 1999, pp.174-185.
- [3] C.Intanagonwiwat, R.Govindan, and D.Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks" in Proceedings of the ACM/IEEE international Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), 2000, pp.56-67
- [4] 남도현, 민홍기, "센서 네트워크에서 클러스터 헤드의 load-balancing을 통한 에너지 효율적인 클러스터링", 정보처리학회지C, 2007.6, p277 - p284
- [5] Wendi B.Heinzelman, Anantha P.Chandrakasan, and hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks" in Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, Jan. 2000, pp10 vol.2.
- [6] Wendi B.Heinzelman, Anantha P.Chandrakasan, and hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks" IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, NO. 4, 2002, pp660-670
- [7] A.Manjeshwar and D.P.Agrawal. "TEEN: A Routing Protocol for enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks", in 1st International Workshop on Paralled and Distributed Computing Issues in Wireless, 2001. pp2009-2015
- [8] Ossama Younis and Sonia Fahmy, "HEED: A Hybird, Energy-Efficient Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks", IEEE Trans. on Mobile computing, Vol.3, No.4, 2004, pp.660-669.
- [9] 이상학, 정태충, "무선 센서네트워크의 에너지 효율적 집단화에 관한 연구", 정보처리학회지C, 2004, p923-930
- [10] 남도현, 민홍기. "브리지 클러스터를 이용한 에너지 효율적 센서 네트워크 클러스터링" 신호처리학회논문지. 2007.10, pp279-284
- [11] 장근원, 신동규, 전문석, "센서네트워크 통신에서 대칭키 방식과 LEAP을 적용한 안전한 동적 클러스터링 알고리즘 설계" 정보보호학회논문지. 2006.6, pp29-38
- [12] S. Zhu, S. Setia, and S. Jajodia, "LEAP: Efficient Security Mechanisms for Large-Scale Distributed Sensor Networks," In *Proceedings of the 10th ACM CCS '03*, October 2003, pp62-72
- [13] A. Perrig, R. Szewczyk, V. Wen, D. Culler, and J. Tygar, "SPINS: Security Protocols for Sensor Networks," In *Proceeding of Seventh Annual ACM International conference on Mobile Computing and Networks(Mobicom)*, July 2003, pp189-199



민 홍기(Hong-Ki Min)

1979년 인하대학교 전자공학과(학사)
 1981년 인하대학교 대학원 전자공학(석사)
 1985년 인하대학교 대학원 전자공학(박사)
 1985년 - 1991년 한국과학기술연구원선임연구원

1993년 - 1994년 Univ. of Delaware 방문교수

1991년 - 현재 인천대학교 교수

※주관심분야 : 센서네트워크, 신호처리, 재활공학, HCI