

# 무선 센서 네트워크에서의 효율적 에너지 소모 방안<sup>1)</sup>

민형석<sup>0</sup> 이상빈 안순신  
고려대학교 전자전기 공학과  
{minhs<sup>0</sup>, kulsbin, sunshin}@dsys.korea.ac.kr

## Efficient Energy Consumption Method in Wireless Sensor Network

Hyoungeok Min<sup>0</sup>, Sangbin Lee, Sunshin An  
Computer Network Lab. Dept. of Electronic Electrical Eng., Korea University

### 요 약

본 논문은 물리 공간의 이벤트를 입력받는 센서 노드들로 이루어진 무선 네트워크 환경에서 네트워크의 전체 에너지를 최소화하기 위한 방법으로, 라우팅, MAC, 어플리케이션 레이어 joint 설계 방식의 크로스 레이어에 기반을 둔 데이터 어그리게이션 알고리즘에 관한 것이다. 시뮬레이션 결과 우리는 제안한 방법을 통해 데이터 어그리게이션을 고려하지 않은 이전의 방법보다 확실한 에너지 감소 효과를 얻을 수 있고, 전체 무선 센서 네트워크의 에너지 사용을 개선 시킬 수 있다.

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)의 최근 동향은 극히 한정된 자원의 저비용과 저전력으로 이루어진 초소형 센서들로 구성된다. 무선 센서 네트워크는 물리 공간의 상태인 온도, 습도, 조도, 소리, 움직임 등과 같은 물리적 데이터를 무선통신이 가능한 센서노드에서 감지하고 측정하여 중앙의 기본 노드(Base-Station or Sink Node)로 전달하기 위해 센서 노드들로 구성 되어진 네트워크를 말한다[1]-[3].

센서 네트워크 환경에서는 많은 수의 센서 노드들이 동시에 통신을 하기 때문에 무선통신에 적합한 MAC 프로토콜이 고려되어야 하며 여기에는 TDMA(Time Division Multiple Access), COMA(Code Division Multiple Access), IEEE 802.11 등이 있다. 그런데 이러한 프로토콜과는 별개로 무선 센서 네트워크는 전체 네트워크 에너지 소비를 줄일 수 있는 방안이 반드시 요구된다. 왜냐하면 센서 노드들은 주로 배터리 전원을 이용하고, 센서 노드의 배터리 충전이 어렵기 때문에 센서 노드들의 동작 수명을 최대한 길게 하는 것이 중요하다.

또한 데이터 어그리게이션(data aggregation)[4]은 주기성과 유사성을 가지는 데이터의 집적 혹은 축약을 통한 망 자원 확보, 에너지 절약, 트래픽 매니지먼트의 용이성, QoS 처리용이 등의 이유로 센서 네트워크에서 중요성이 부각되고 있다. 또한 이러한 데이터 어그리게이션은 어플리케이션의 요구, 망 구조, 링크의 특징, 데이터 특징 등에 모두 영향을 받기 때문에 이 모든 것을 고려한 종합적인 크로스 레이어(Cross-Layer)[5] 디자인이 요구된다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에 적합하도록 전체 네트

워크 에너지 소모를 줄일 수 있는 크로스레이어(Cross-Layer) 디자인과 데이터 어그리게이션(Data Aggregation) 기법을 제안하여, 전체 네트워크에서 소비되는 총 에너지 양을 최소화하는 에너지 효율성 향상에 목적을 두고 있다.

### 2. Adaptive Data Aggregation Scheme

#### 2.1 시스템 모델

n 개의 노드를 가진 멀티홉 무선네트워크를 고려한다. 각각의 노드는 데이터 소스노드와 어그리게이션노드가 될 수 있으며 이러한 각각의 노드는 배터리가 유한하며 대체될 수 없다. 이 중에서 하나의 노드를 노드 v 라고 가정하며, 이러한 노드들은 네트워크 동작에 있어서 모두 중요한 역할을 갖는다고 한다. 가변 길이(Variable-length) TDMA 구성에서 슬롯(slot) 길이는 라우팅 요구 조건에 따라 최적으로 할당되며 모든 링크에서 전송률이 동일하다. 각각의 노드는 active 모드와 sleep 모드로 구성되며 TDMA 구성에 의해 할당된 시간 간격 동안에는 대응되는 노드가 active 모드로 동작한다. 데이터 전송이 끝난 후에는 sleep 모드로 들어가서 모든 회로의 전원을 끈다.

#### 2.2 해결방안 특징

이 논문에서 제안하는 해결책은 centralized 알고리즘이며 크로스 레이어 측면에서 다음과 같은 특징을 갖는다. 첫째로 가변 길이 TDMA 방식으로 충돌(collision)이 없는 환경을 고려한다. 둘째로 네트워크 토폴로지를 고려하여 어그리게이션 노드를 결정한다. 셋째로 데이터 타입에 따라 데이터 생성률(data generation rate)과 어그리게이션률(aggregation rate)을 고려한다. 이러한 크로스 레이어적 고려 사항에 따라 최적의 어그리게이션 노드를 선택하게 된다.

1) 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성,지원사업의 연구결과로 수행되었음

2.3 전체 네트워크 에너지 최소화 방안

네트워크에서 소비되는 총 에너지를 최소화하기 위해서 몇 가지 다음과 같은 중요한 인자들을 고려해야 한다. 그러한 인자들로는 각 노드에서의 어그리게이션 에너지(energy), 어그리게이션 률(rate), 어그리게이션 보장시간(guarantee time) 등이 있다. 이러한 인자들에 의하여 어그리게이션 노드는 다양하게 변화되고 전체 네트워크 에너지 소모가 최소화 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 표1과 같은 Linear Programming(LP) problem solution을 제안한다.

표1 LP problem solution

Objective :

min  $P_{net}$

Constraints:

$$\left(\sum_{v=1}^k \sum_{j \in N_{out}(v)} \tau_j\right) + \tau_i = T_A \quad \dots\dots(1)$$

$$\sum_{i \in N_{in}(v)} W_i \tau_i + R_v T_A = \frac{1}{A_f} \sum_{j \in N_{out}(v)} W_j \tau_j \quad \dots\dots(2)$$

$$p_R \sum_{i \in N_{in}(v)} A_f \tau_i + p_\sigma \sum_{i \in N_{in}(v)} \tau_i + (p_i + p_a) \sum_{j \in N_{out}(v)} \tau_j = p(v) \quad \dots\dots(3)$$

$$\sum_{v=1}^k \sum_{j \in N_{out}(v)} \tau_j = T, \quad v=1, L, n \quad \dots\dots(4)$$

링크 e 에서의 전송 전력(transmit power)을  $p_t(e) = p_0 / \sigma(e)$  라고 하며, 링크 e 에 대한 정규화된 타임 슬롯(time slot) 길이를  $\tau(e)$ , 링크 e의 거리를  $d(e)$ , path 손실 함수를  $\alpha(e) = 1 / d^\beta$  라 한다. 또한 각 노드에서 수신회로에 대한 회로전력 소모값을  $p_{cr}$ , 송신회로에 대한 회로전력 소모값을  $p_{cs}$ , 전송 전력 소모값을  $p_t$  라 한다.  $p_{ag}$  는 데이터 어그리게이션 에너지 소모이고 어그리게이션 함수(여기서는 데이터 타입)에 의해 변화된다. 여기서 어그리게이션 률을  $A_f$  로써 정의한다.

그리고 각 노드에 의한 전력 소모가 주어지면 단위 시간 T 동안의 네트워크 에너지 소모는 다음과 같다.

$$P_{net} = \sum_{v=1}^N P(v)$$

여기서  $\sum_{i \in N_{in}(v)} \tau_i$  는 수신모드에서 노드 v 가 소비한 시간의

일부이고  $\sum_{j \in N_{out}(v)} \tau_j$  는 송신모드에서 노드 v 가 소비한 시간의 일부이다. 아울러 표1에서 각 라인별 제약사항은 다음과 같으며

- (1) Aggregation Time Constraint
- (2) Network Lifetime Constraint
- (3) Flow Conservation Constraint
- (4) Node Energy Conservation Constraint

이러한 LP problem 을 풀기 위해 SeDuMi[6] 패키지를 이용하였다.

3. Adaptive Cross-Layer Protocol

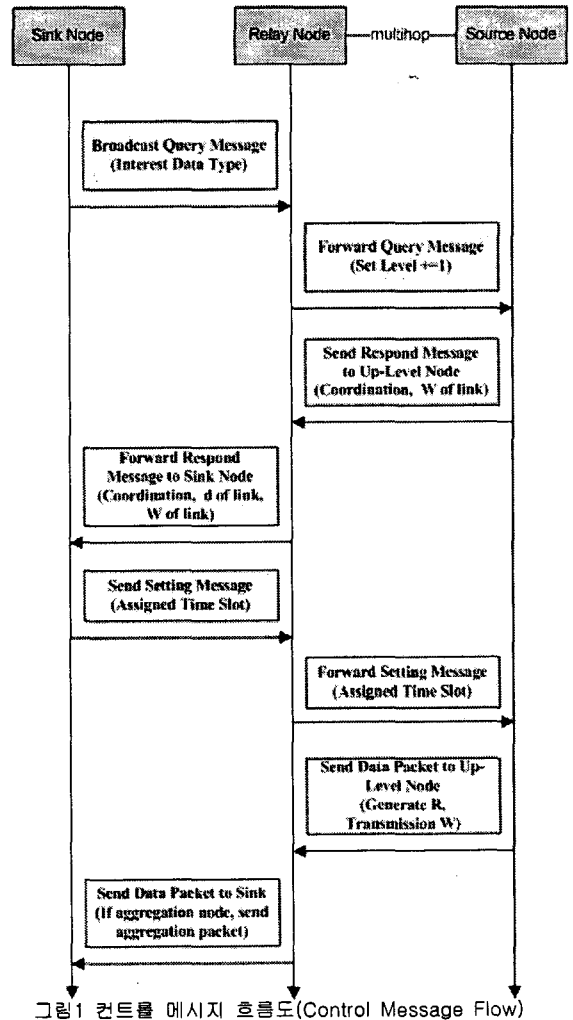


그림1 컨트롤 메시지 흐름도(Control Message Flow)

본 논문에서 제안하는 크로스 레이어에 기반을 둔 데이터 어

그리계이션 기술의 목적은 무선 센서 네트워크 상에서의 에너지 소모를 최소화 하는 것이다. 그림1 은 컨트롤 메세지의 흐름도를 나타낸다. 먼저 싱크노드(sink node)는 자신의 우선 범위 안에 있는 노드에게 어떤 일정한 형태의 데이터 타입을 가진 query를 브로드 캐스트 한다. 데이터 타입은 데이터의 어그리게이션(aggregation rates)( $A_i$ ) 과 생성률(generation rates)( $R_i$ )을 포함한다. Query를 수신한 모든 노드는 레벨1 로 설정되고 어그리게이션률을 등록하고, 다른 노드들에게 다시 이 query를 전송한다. 전송된 메시지를 수신한 각각의 노드는 레벨  $+1$  로 설정되며 계속적으로 소스노드(source node)에 도달될 때까지 메시지를 전송한다. 반면 같은 레벨상에서 링크는 생성 되지 않는다. 소스노드들은 query 메시지를 수신한 후에 데이터의 어그리게이션률과 생성률을 등록하고 상위레벨 노드들에게 남아있는 에너지 양과 자신의 위치(좌표값)를 응답 메시지로 보낸다. 상위레벨 노드들은 링크의 거리를 계산하고 상위레벨 노드에게 링크의 거리와 그것의 위치(좌표값)를 보낸다. 이에 따라서 싱크노드는 소스로부터 싱크까지의 모든 링크 정보를 수신 받게 된다.

싱크노드는 표2 에서와 같이 EA-알고리즘(Energy consumption by data Aggregation) 을 수행하고 하위레벨 노드들에게 각 링크에 할당된 타임슬롯이 포함된 메시지를 보낸다. 소스노드는 query 메시지가 포함된 데이터 타입에 의해 데이터를 생성하고 할당된 타임슬롯 동안에 상위레벨로 데이터를 전송한다. 각각의 릴레이노드(relay node)는 어그리게이션률, 전송률(W)에 의해 데이터 패킷을 어그리게이션하며 이렇게 된 데이터를 상위레벨 노드들에게 전송한다. 이에 따라서 결국 싱크노드는 최종으로 어그리게이션 된 데이터를 수신하게 된다.

표2 EA-Algorithm

```

1  let c = [ p(1) p(2); ... ; p(N) ],
    b = [ R (L1); R (L2); ... ; R(Lm); TA ]
2  while ( k++ <=m )
3    if edge Lk ∈ Sin(v)
4      Av,k ← - W
5      An+1,k ← 0
6    else Av,k ← Ar * W
7      An+1,k ← 1
8    end
9  while ( s++ < m )
10   if edge Ls ∈ Uout(s)
11     An+1,s ← 1
12   else An+1,s ← 0
13   end
14   SeDuMi(A,b,c)
15   if G is feasible
16     P ← c*x , T ← ∑v=1k ∑j∈Nin(v) τj
17   end
18   end
19   Pnet ← min P
20   end
    
```

라인 (1)~(8)은 각 센서 노드와 링크에 대해서 A, b, c로 알

고리즘을 초기화하는 것이다. 라인 (1)은 b에 있는 각 노드에서 생성률과 c 에서의 링크 에너지 생성률이다. 라인 (2)~(8)은 A에 있는 각각의 노드에서 입력 링크인지 출력 링크인지를 결정한다. 라인 (9)~(18)은 P를 얻기 위한 과정이다. 또한 라인 (9)~(13)은 A에서 링크 상태가 어그리게이션 출력 링크인지 아닌지를 결정한다. 여기서 U(s)는 소스 노드의 상위 노드인 어그리게이션 노드들의 집합이고 U<sub>out</sub>(s)는 U(s)의 출력 링크의 집합이다. 어그리게이션 노드를 선택하기 위해서 T<sub>A</sub>에 있는 어그리게이션 링크의 타임 슬롯 하나를 할당해 포함한다. 라인 (14)에서는 SeDuMi를 수행한다. 그리고 나서 만약 G가 feasible 하면 (라인(15)에서 처럼), 라인 (9) 동안에 라인(16)의 P와 같이 각 U<sub>out</sub>(s)에서 gain은 c\*x (in SeDuMi)가 된다. 결국, 라인 (19)~(20)에서는 최대 P를 선택함으로써 P<sub>net</sub>을 결정한다.

4. 결론

본 논문은 물리 공간의 이벤트를 입력받는 센서 노드들로 이루어진 무선 네트워크 환경에서 네트워크의 전체 에너지를 최소화 하기 위한 방법이다. 즉, 라우팅, MAC, 어플리케이션 레이어 joint 설계 방식의 크로스 레이어에 기반을 둔 데이터 어그리게이션 알고리즘에 관한 것이다.

본 논문에서는 생각되었지만 시뮬레이션 결과 우리는 제안한 방법을 통해 데이터 어그리게이션을 고려하지 않은 방법보다 확실한 에너지 saving 효과를 얻을 수 있었다. 또한 소스노드의 수, 어그리게이션률(aggregation rate), 생성률(generation rate)에 따라 어그리게이션 노드가 adaptive 하게 선택되는 것을 알 수 있다. 그 결과로써 전체 네트워크에서의 총 에너지 소모와 네트워크 수명도 어댑티브하게 변화함을 알 수 있다.

센서 네트워크는 응용 서비스의 종류에 따라 다이나믹 하게 변하기 때문에 분산 알고리즘, 링크 스케줄링, 링크 상태 등을 고려한 연구가 향후 추가적으로 필요하다.

5. 참고문헌

- [1] J. M. Kahn, R. H. Katz, and K. S. J. Pister, "Mobile Networking for Smart Dust", In *Proceedings of 5th ACM IEEE Mobicom Conference*, 1999.
- [2] R. Min, M. Bhardwaj, S.H. Cho, A. Sinha, E. Shih, A. Wang, and A.P. Chandrakasan, "Low-Power Wireless Sensor Networks", In *VLSI Design*, 2001.
- [3] J. Rabaey, J. Ammer, J.L. da Silva Jr, and D. Patel, "PicoRadio: Adhoc Wireless Networking of Ubiquitous Low-Energy Sensor/Monitor Nodes", In *Proceedings of the IEEE Computer Society Annual Workshop on VLSI*, 2000.
- [4] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks", In *Proceedings of 5th ACM IEEE Mobicom Conference*, 1999
- [5] J. Heidemann et al., "Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming," *18th ACM Symposium on Operating Systems Principles*, October 21-24, 2001.
- [6] <http://sedumi.mcmaster.ca/>