

센서 네트워크에서의 균일한 에너지 소모를 위한 라우팅 알고리즘¹⁾

김현익⁰ 채동현 *원광호 안순신
고려대학교 전자컴퓨터 공학과

*전자부품연구원 유비쿼터스 컴퓨팅 연구 센터

{naloving⁰, hsunhwa, sunshin}@dsys.korea.ac.kr , *khwon@keti.re.kr

Uniform Energy Distribution by Energy Conservative Routing Algorithm in Sensor Networks

Hyunik Kim⁰ Donghyun Chae *Kwangho won Sunshin An
Dept. of Electronic Engineering , Korea University

*Ubiquitous Computing Research center , Korea Electronics Technology Institute

요 약

센서 노드는 소형의 배터리로 구동되고 특성상 에너지 소모가 많은 노드가 생기게 된다. 그러므로 에너지를 일찍 소진하는 노드가 생길 경우 불완전한 네트워크가 되어 일부만 기능을 하는 경우가 생기게 된다. 본 논문에서는 1 hop 떨어진 상위 노드의 에너지 편차를 계산하여 에너지가 많은 노드에게 라우팅함으로써 에너지를 균일하게 사용하는 알고리즘을 제안한다. 이를 통해 네트워크의 수명이 다할 때까지 균일하게 노드가 동작하는 효과를 얻을 수 있다.

1. 서 론

최근 몇 년간 ASIC(Application Specific Integrated circuit) , MEMS(Micro electro mechanical systems) , SOC(System on chip) 등의 전자기술의 발달로 소형, 저전력, 저가, 다기능의 센서 노드가 개발되었고 그로 인해 위험 지역의 환경 감시, 군사 작전, 의료기기, 건물의 방범, 화재 감시 등 많은 곳에서 실제로 쓰일 가능성을 보이고 있다. 그러나 센서노드는 배터리로 동작하고 배터리가 모두 소모되었을 때 교환이 불가능하므로 센서 네트워크에서 센서 노드의 전력 문제는 치명적이다.

센서 네트워크 전체의 수명을 늘리기 위해서는 개별 노드의 수명도 중요하지만 노드간의 에너지 소모 차이가 크면 일찍 에너지가 소진되는 노드가 생기게 된다. 이런 현상은 네트워크 전체적인 관점에서 온전한 기능을 하지 못하게 한다. 그러므로 개개 노드의 에너지를 절약하는 것과 더불어 전체적으로 에너지를 고르게 사용하는 방안도 고려해야 한다.

에너지를 절약하기 위한 많은 연구들이 제안되었다. 변조회로의 에너지 소비를 줄임으로써 해결하기도 하고 [1], 센서 노드의 MAC layer 관점에서 에너지를 관리하기도 한다.[2] 그러나 이러한 기법은 device에 관점을 둔 에너지 관리이므로 네트워크 관점에서 보았을 때 부족함이 있을 수 있다. 에너지 관리를 위해서 센서 노드

들이 협력하는 관점에서 고려해야 한다. 대부분의 경우 data는 sink 노드까지 직접 보내지지 않고 중간 노드를 경유하여 보내므로 중간 노드들은 자신의 data를 전송하는 일 외에도 다른 노드의 data까지 전송하는 부담을 안게 된다. 그러므로 에너지 효율적이고 에너지 소모가 균일한 routing 알고리즘으로 센서네트워크의 전체 수명을 늘리는 것이 중요하다.

기존의 유선 routing 알고리즘[3]은 제반 환경이 많이 다르므로 센서 네트워크에 적합하지 않다. 센서 노드는 유선이 아닌 무선 환경이므로 충돌이 일어날 확률이 높고, 에너지가 제한되어있기 때문에 송신 전력을 높이는 데 한계가 있다. 게다가 센서 네트워크의 노드는 릴레이 서비스를 하기 때문에 저력의 소모가 크다.

센서 네트워크에서 가장 간단한 routing 방법은 flooding이다. 그러나 flooding 방식은 불필요한 트래픽에 의한 에너지 소모가 크다. 이러한 단점을 보완하기 위해 많은 기법이 제안되었는데, 그중 대표적인 방법은 필요할 때만 path를 설정하는 on-demand routing[4]이다. 그러나 이러한 방법은 sink와 node와의 거리가 멀어지면 overhead가 커지고 source routing 정보를 교환하기 위한 메시지도 무시할 수 없다.

본 논문에서는 1hop 떨어진 노드의 에너지 편차를 계산하여 에너지가 많은 노드에게 routing 하는 overhead가 적으면서 균일하게 data를 전송하는 방식을 제안한다. 이 방식은 flooding이나 on-demand routing처럼 주기적으로 메시지를 보내지 않으므로 overhead가 적은 장점이 있다.

2장에서는 Layered Network와 MAC Beacon의 관련

1) This work was partially supported by CUCN (National Center of Excellence in Ubiquitous Computing and Networking).

연구를 3장에서는 본 논문에서 제안하는 균일한 에너지 소모를 위한 알고리즘을 기술하고 4장에서 결론 및 향후 연구에 대해 기술하도록 하겠다.

2. 관련 연구

2.1 MAC Beacon Message

MAC layer의 Beacon Frame은 그림 2에서 보는바와 같이 slotted CSMA-CA에서 동기를 맞추기 위해 넣는 time slot이다. 본 논문에서는 MAC layer의 Beacon Frame을 사용하여 frame안에 에너지 정보를 담아 1hop 범위 안에 있는 노드들의 에너지 정보를 안다고 가정한다.

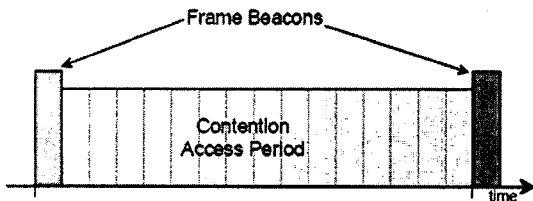


그림 2 802.15.4의 Superframe Structure

WPAN 802.15.4[6]의 경우 Beacon frame의 구조는 그림3과 같으며 Beacon Payload에 에너지 정보를 넣음으로써 각 노드간의 에너지 정보를 주고받을 수 있다.

Order: 2	1	4/30	2	variable	variable	variable	2
Frame control	Sequence number	Addressing fields	Superframe specification	GIS fields (Figure 38)	Pending address fields (Figure 39)	Beacon payload	FCS
MHR			MAC payload				MFR

그림 3 802.15.4의 Beacon Frame

센서 네트워크에서 노드는 밀집하게 분포되어 있으므로 실질적으로 MAC에서 collision 문제가 일어날 확률이 높지만 이에 관한 내용은 이미 solution이 많이 나와 있으므로 본 논문에서 다루지 않는다.

2.2 Layered network model

sink node로부터 broadcast 메시지를 통해 최단 거리를 알 수 있다. 이러한 과정을 통해 sink node와 임의의 node까지 얼마나 떨어져 있는냐(hop count)를 알 수 있고, 이렇게 하여 hop count가 같은 노드를 layer로 묶은 network를 Layered Network[5]라 한다. sink node로부터 멀리 떨어질수록 hop count는 높아진다. Layered Network를 구축함으로써 source node로부터 sink node까지 최단 path의 routing을 할 수 있다. 본 논문에서는 Layered Network의 최단거리를 이용한 routing 방법으로 default routing을 한다.

임의의 노드를 기준으로 했을 때 자신보다 sink에 가까이 있는(hop count가 작은) 노드를 상위 노드라고 하고 자신보다 sink에서 멀리 떨어져있는(hop count가 큰) 노드를 하위 노드라고 정의한다.

3.Uniform Energy Routing Algorithm

본 논문에서는 상위 노드의 에너지 레벨을 고려하여 에너지 소모에 있어서 어느 한 쪽에 치우치지 않는 routing 알고리즘을 제안한다.

3.1 Default Path Creation & Routing

그림 1 (b)에서 노드a가 설정 메시지에 hop count를 1로 설정하여 flooding 하면 노드b, 노드c의 hop count가 각각 1로 설정된다. 마찬가지로 그림 1 (c),(d)에서 노드b, 노드c가 받은 설정 메시지의 hop count가 2로 설정 후 다시 flooding을 하여 노드 d와 노드e의 hop count가 2로 설정된다. 또, 그림 (e),(f)를 보면 각각 노드 d와 노드e가 flooding을 통해 노드 f가 hop count를 3으로 설정된다. 노드f처럼 두 번 이상 메시지를 받은 경우는 먼저 온 메시지가 유효하며 그 이후에 온 메시지는 버려진다.

그림 1의 화살표는 default routing path를 의미하며 후에 data를 받은 노드는 화살표 방향으로 data를 전송한다. 상위 노드로부터 hop count 설정 메시지를 받은 직후 default routing path를 설정하게 된다.

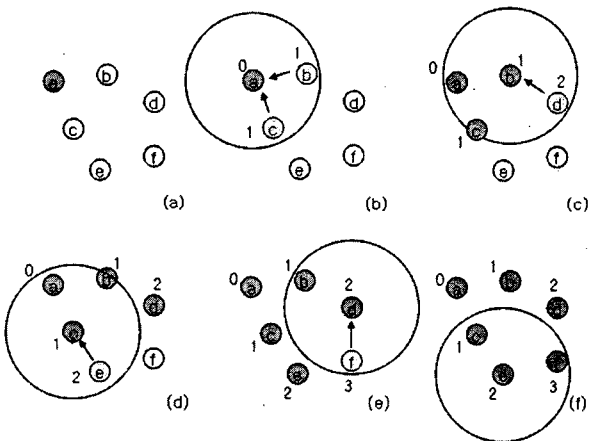


그림 1 Layered Network의 설정 및 default path creation

각 노드의 hop count 설정이 끝나면 data의 전송이 이뤄지는데, 이에 대한 알고리즘은 그림 4의 밝은 부분에 해당한다. 임의의 노드가 data를 받으면 그것이 하위 노드에서 온 것인지 상위노드에서 온 것인지를 판단하여 상위노드에서 온 것이면 무시하고 하위 노드에서 온 것이면 받아들인다. 그리고 sink 노드로 전송할 데이터의 send_limit(data를 전송 받아야할 노드의 sink로부터의 hop count)를 한 단계 낮춘 후 다시 전송한다. 이러한 방식으로 shortest path를 이용해 default routing을 한다.

3.2 Energy Aware Path Decision

앞서 봤듯이 MAC Beacon frame을 통해 1hop 범위에 있는 노드의 에너지를 알 수 있다. 하위 노드로부터 data를 받거나 센싱한 data가 생겨 전송이 필요한 노드는 자신보다 상위에 있으면서 1hop 범위에 있는 node의

에너지를 계산한다. 식은 아래와 같으며 모든 노드는 동일한 에너지 용량을 가지고 시작한다고 가정한다. m 은 자신보다 상위에 있는 노드들의 개수이며, E_{avg} 는 자신보다 상위에 있는 노드들의 에너지 평균이다.

$$energy_dev = \frac{\sum_{n=1}^m |E_n - E_{avg}|}{m}$$

$energy_dev$ 값을 계산한 후 노드는 미리 설정한 값 $energy_thre$ 를 넘으면 상위 노드들 중 가장 에너지가 높은 노드에게 메시지를 보낸다. 만약 그렇지 않다면 처음에 flooding을 통해 설정한 default path로 전송한다. 그림 4의 알고리즘 중 어두운 부분의 두 번째 판단에 해당된다.

Default path는 앞서 말한 layered network에서 설정되었고 이러한 과정은 각 노드에서 결정한다. 즉, source node에서 sink node까지의 full path를 말하는 것이 아니라 각 노드에서의 default path를 말하는 것이라는 점을 분명히 해둔다.

알고리즘 순서도는 그림 4와 같다. 흰 부분은 layered network를 통한 default routing 알고리즘이고, 중간의 어두운 부분이 제안하는 Uniform Energy Routing 이다.

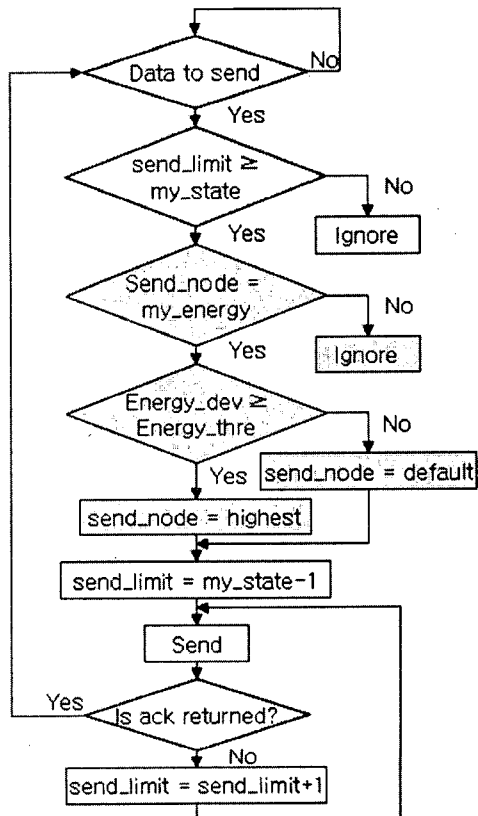


그림 4 Uniform Energy Routing Algorithm

- my_state : sink로부터의 hop수
- my_energy : node 자신의 energy 레벨
- send_node : data를 전송 받아야할 노드의 에너지 레벨
- send_limit : data를 전송 받아야할 노드의 sink로부터의 hop수
- energy_thre : 정해 놓은 에너지 편차 기준
- energy_dev : 자신과 1hop 떨어진 노드 중 자신보다 상위에 있는 노드 간의 에너지 편차

4. 결론

센서 네트워크에서 에너지 문제는 치명적이므로 에너지의 소모를 줄이고 에너지 소모가 노드마다 균일하게 소모할 수 있는 routing 알고리즘이 필요하다. 센서 네트워크는 에너지 제한적인 특성 때문에 기존의 유선이나 AD-HOC routing은 적절하지 못하다.

이에 본 논문에서는 각 노드에서 에너지가 충분한 노드로 path를 설정하는 routing 알고리즘을 제안했다. 이 방법을 통해 불필요한 traffic을 최소화 하며 각 노드마다 균일하게 에너지를 사용할 수 있다. 향후 aggregation이 가능하고 hierarchical network에서도 작동할 수 있는 알고리즘으로 발전시키는 과제가 남아있다.

5. 참조 문헌

[1] C. Chien, I. Elgorriaga and C. McConaghy, "Low-power direct sequence spread-spectrum modem architecture for distributed wireless sensor networks", Proc. of IEEE Low power electronics and design, pp.251-254, 2001.

[2] Y. Wei, J. Heidemann and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor network", Proc. of INFOCOM2002, pp.1567-1576, 2002

[3] J. Moy, "OSPF Version2", RFC 2178, Internet engineering task force, 1997.

[4] C.E Perkins, E.M. Royer, "Ad hoc on demand distance vector routing", Proc. of 2nd workshop on mobile computing systems and applications 1999, pp.90-100, 1999.

[5] Shih-Chang Huang, Rong-Hong Jan, "Energy-Aware, Load Balanced Routing Schemes for Sensor Networks", Proc. of ICPADS 2004, pp. 419-425, 2004

[6] IEEE Std 802.15.4-2003, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs)", 2003