

# 센서 네트워크에서의 효율적 에너지 소비를 위한 라우팅 프로토콜

## Energy-efficient Routing Protocol in Wireless Sensor Networks

송영아<sup>1</sup> 김정근<sup>2</sup> 이재현<sup>3</sup>, <sup>1</sup>한국정보통신기능대학교<sup>2</sup>경희대학교 <sup>3</sup>경희대학교  
Yasong-A Song<sup>1</sup> Jeong-Genm Kim<sup>2</sup> Jae-Hyun Lee<sup>3</sup>, <sup>1</sup>Korea Information & Communication Polytechnic college <sup>2</sup>Kyung Hee University <sup>3</sup>Kyung Hee University

### Abstract

본 논문에서는 전력 제어를 통해 에너지 소비를 최소화하여 네트워크 수명을 극대화 시킬 수 있는 효율적인 라우팅 방안을 제안하였다. 제안한 프로토콜에서 센서 노드들은 여러 개의 단위 전력을 가지고 있어 독립적인 라우팅 테이블을 형성하게 된다. 이를 토대로 가장 에너지 소비가 적은 경로를 설정하여 데이터를 전송하게 된다. 또한 특정 노드가 더 이상 기능을 하지 못하는 경우에도 적응적으로 경로를 재설정하여 데이터를 전송할 수 있도록 설계하였다. 이렇게 제안한 프로토콜과 기존의 방식과의 비교 실험을 통해 제안한 라우팅 방식의 성능을 효율적 에너지 소비 측면에서 분석하였다. 그 결과 논문에서 제안한 프로토콜의 성능이 기존의 방식과 비교하여 향상되었음을 확인하였다.

### Keywords

센서 네트워크, 전력 제어, 네트워크 수명, 라우팅

## 1. 서 론

현재 반도체 기술과 무선 통신 기술 그리고 센서 기술의 비약적인 발전이 이루어졌다. 이를 토대로 검출 기능과 프로세싱 기능을 통한 무선 데이터 통신 기능을 할 수 있는 초소형 저가의 정보 취득 노드를 양산할 수 있게 되었다. 이러한 저가의 노드를 다량으로 설치하고, 주위를 센싱하여 원하는 정보를 얻을 수 있는 센서 네트워크의 구현이 가능해졌다[1].

센서 네트워크의 큰 특징은 기존 인프라를 사용하지 않고 무선 센서 노드들 사이에 자율적인 통신 경

로를 설정하는 Ad-hoc 네트워크라는 점이다. 하지만 Ad-hoc 네트워크와 센서 네트워크는 다음과 같은 차이점을 보인다.

센서 네트워크는 다수 노드에서 특정 싱크로의 데이터 흐름을 가진다.

센서 노드들의 센싱에 의해 수집된 데이터는 주변 노드들이 수집한 정보와 많은 상관성을 갖는다.

센서 네트워크는 에너지에 의해 많은 제약을 받는다.

센서 네트워크에서 가장 큰 이슈는 제한된 상황 속에서 지속적인 네트워크 기능을 유지하는 것이다. 대부분의 경우 센서 노드들에 대한 재충전은 불가능하며, 많은 경우 일회용으로 사용하게 된다. 그러므로 데이터를 수집하고 전송하는데 소모되는 에너지는 전체 네트워크 수명을 결정하는 가장 중요한 요소가 된다.

이 논문의 연구는 센서 네트워크에서 효율적인 에너지 소비를 위해 전력 제어를 통한 라우팅 알고리즘을 제안하였다.

간단한 전력 제어를 위한 알고리즘은 모든 노드가 최소한의 에너지 사용을 위해 공통의 전송 전력을 찾아 사용하는 것이다[2]. 이 프로토콜은 네트워크 내의 모든 노드들이 균일하게 배치가 되었을 때 최적의 에너지 소비를 보일 것이다. 하지만 센서 네트워크 특성 상 균일한 노드 배치는 보장 될 수 없다. 어느 특정 노드가 다른 노드들에 비해 멀리 떨어질 경우, 연결성 보장을 위해 모든 노드의 전송 전력 크기는 가장 긴 두 노드가 통신할 수 있는 전력으로 결정된다. 또한 센서 네트워크에서 특정 노드가 기능을 상실했을 때 다른 많은 노드들이 에너지가 남아 있음에도 불구하고 네트워크 기능이 상실되거나 부분적으로 나

뉘게 될 것이다.

본 논문에서는 이와 같은 단점을 보완하기 위한 센서 네트워크 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 센서 네트워크의 모든 노드들은 여러 개의 단위 전력을 가지게 된다. 각각의 단위 전력은 서로 독립적인 라우팅 테이블을 형성하게 되고, 특정 목적지로의 경로를 바탕으로 가장 에너지 소모가 적은 라우팅 정보를 골라 데이터를 전송하게 된다. 또한 특정 노드가 기능을 상실하게 되었을 때, 단위 전력을 바꾸어 새로운 경로를 재설정함으로써 네트워크 수명을 극대화 시킬 수 있도록 설계하였다.

2장에서는 전력 제어에 따른 기술적인 문제를 살펴보고, 3장에서는 제안한 알고리즘을 설명하였다. 4장에서는 제안한 알고리즘을 사용한 실험을 통해 성능을 분석하고, 5장에서 결론을 도출하였다.

## II. 전력 제어의 기술적 문제

무선 통신 기술에서 각 노드의 전송 전력의 결정은 네트워크에 많은 영향을 미치게 된다. 전송 전력 제어를 통한 기술은 매우 복잡한 문제이며, 기본적으로 전송 전력에 따른 변화는 네트워크를 구성함에 있어 많은 영향을 미치게 된다.

전송 전력은 Medium Access Control (MAC)의 성능을 결정한다.

전송 전력은 네트워크의 연결성에 영향을 준다. 결과적으로 목적 노드로의 데이터 전송 능력을 결정하게 된다[3].

전송 전력은 목적 노드로의 데이터 전송에 있어 홉 수를 결정하며, 종단 간 지연에 영향을 미치게 된다[4].

전송 전력은 각 노드의 데이터 전송 에너지를 결정하게 된다.

위와 같이 전송 전력은 물리 계층부터 응용 계층까지 모든 네트워크 프로토콜 스택에 영향을 미치게 된다. 따라서 전송 전력 제어를 이용한 프로토콜 구현은 한 스택의 문제가 아닌 모든 네트워크 스택을 고려하여야 한다.

기존 논문 [5]에서는 전력 제어를 MAC 계층에서 해결을 하였다. 하지만 MAC 계층은 단순히 데이터를 주고받는 역할만은 한다. 따라서 MAC 계층을 통한 접근은 효과적인 멀티 홉 전송을 고려하지 못하고 단순히 지역적인 노드 구성 및 SINR에 의해 문제를

해결하게 된다. 전체 네트워크를 고려하여 효과적인 에너지 소비와 최적의 경로를 설정하기 위해서는 단위 전력 제어를 네트워크 계층에서 접근하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 단위 전력 제어를 통한 프로토콜 제안은 네트워크 계층의 고려를 통한 라우팅 알고리즘을 제안한다.

## III. 제안하는 알고리즘

일반적으로 Multi-hop 라우팅에서 단위 전력을 적게 하는 것이 에너지 측면에서 우수하다. 하지만 특정 노드의 기능 상실로 인하여 다른 많은 네트워크 내의 노드들이 에너지를 충분히 가지고 있음에도 불구하고 전체 네트워크 기능이 마비될 수 있다. 또한 공통의 전력을 사용하여 통신할 경우, 모든 네트워크 노드들의 연결성을 보장하기 위해선 가장 멀리 떨어진 노드의 단위전력을 사용해야 한다. 이 경우 특정 노드의 연결성 보장을 위해 다른 많은 노드들이 큰 단위 전력을 사용하게 되어 에너지 소모를 많이 하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 이 논문에서는 효과적으로 에너지 소비를 하며, 적용적으로 데이터 통신을 할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 각 노드에서는 여러 개의 단위 전력을 갖는다. 이 단위 전력을 통해 독립적인 라우팅 테이블을 형성하고, 이렇게 형성된 각 라우팅 테이블을 바탕으로 노드들은 특정 목적지까지 가는 경로를 획득한다. 이를 토대로 가장 적은 단위 전력의 라우팅 경로를 골라 데이터를 전송하게 된다.

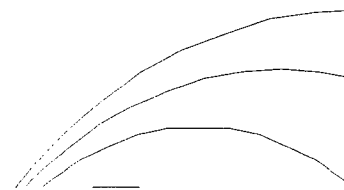


그림 1. 단위 전력에 따른 전송 거리

그림 1은 단위 전력에 따른 전송 거리를 나타낸다. 기존의 프로토콜은 모든 노드가 정해진 하나의 공통 단위 전력을 사용하게 된다. 이 경우 에너지 측면에서 가장 효과적인 데이터 전송은 전송 전력을 가장 적게 하여 데이터를 전송하는 Multi-hop 라우팅 방식이다. 하지만 이 경우 특정 노드가 기능을 못하게 되면 데이터 전송이 끊기게 된다.

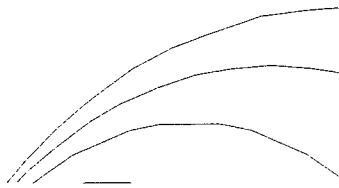


그림 2. 적응적 라우팅

그림 2에서와 같이 노드 1에서 노드 6으로 가장 적은 단위 전력을 사용하여 데이터를 전송하는 과정에서 중간 노드인 노드 2가 기능을 상실하게 되면 노드 1은 더 이상 데이터를 전송하지 못하게 된다. 하지만 제안한 알고리즘을 사용하면, 노드 1은 노드 2가 데이터를 전송할 수 없다는 것을 알게 된 순간 단위 전력을 P1에서 P2로 바꾸어 노드 3으로 데이터를 전송하게 된다. 위에서 설명한 바와 같이 단위 전력을 네트워크 상황에 따라 적응적으로 변화시킴으로써 각 노드들은 데이터를 보내는데 있어 에너지 소모를 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라, 중간에 있는 노드가 기능을 상실하더라도 다른 단위 전력을 사용하여 라우팅 경로를 바꾸어 데이터를 전송하게 되어 특정 노드로 인한 전체 네트워크 통신 기능의 상실을 막을 수 있다.

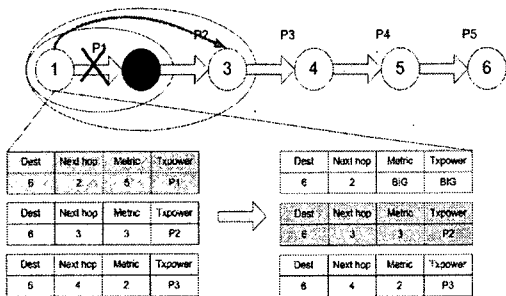


그림 3. 라우팅 경로 변경 과정

그림 3은 노드 1에서 형성된 라우팅 테이블을 보여주고 있다. 제안한 프로토콜의 경우 독립적인 단위 전력을 이용하여 여러 개의 라우팅 테이블을 형성하게 된다. 특정 목적 노드에 대한 각각의 라우팅 테이블이 단위 전력별로 형성되고, 이를 바탕으로 가장 에너지가 효율적인 경로를 골라 데이터를 전송하게 된다. 데이터를 전송하는 과정에서 중간 노드가 기능을 상실하게 되면 전송 가능한 라우팅 경로를 찾아 (P2, P3) 그 중에 가장 단위 전력이 적은 경로(P2)로 재설정하여 데이터를 전송하게 된다.

센서 네트워크 특성 상 모든 노드들은 균일하게 위

치할 수 없다. 따라서 단위 전력을 하나만 사용하는 기존 방식은 여러 가지 문제점을 가지고 있다.

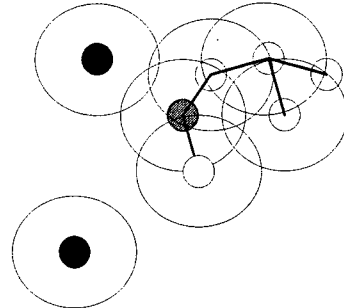


그림 4. 적은 단위 전력을 사용한 네트워크

에너지 소모를 줄이기 위해 적은 단위 전력을 사용하여 네트워크를 형성하게 되면 그림 3에서 보는 바와 같이 모든 노드의 연결성을 보장하기 힘들다.

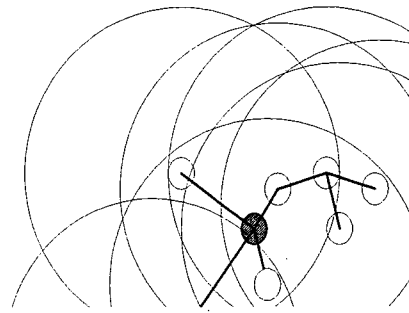


그림 5. 큰 단위 전력을 사용한 네트워크

하지만 모든 노드의 연결성 보장을 위해 큰 단위 전력을 사용하면, 그림 4에서와 같이 큰 에너지 소비와 많은 간섭을 불러 오게 된다.

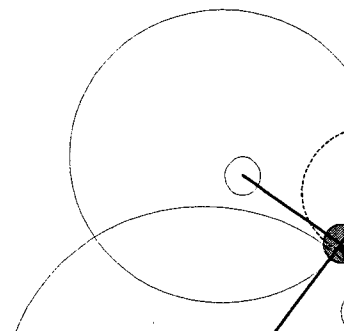


그림 6. 제안한 알고리즘을 사용한 네트워크

하지만 새로운 알고리즘을 이용하면, 적응적으로 독립적인 전송 전력을 이용하여 모든 노드는 가장 적

은 에너지 소비를 할 수 있으며 모든 노드의 연결성을 보장 받을 수 있다.

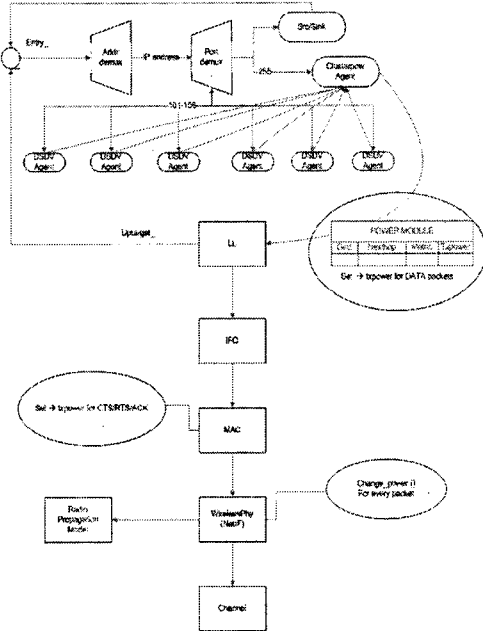


그림 7. 소프트웨어(NS2) 구조

그림 7은 제안된 알고리즘의 NS2 소프트웨어 구조를 나타낸 것이다. 보통 하나의 노드는 하나의 Agent를 가지고 있다. 하지만 제안된 알고리즘은 여러 개의 단위 전력을 사용하기 위해 여러 개의 독립적인 DSDV Agent를 가지게 된다. 이 Agent들은 독립적인 라우팅 테이블을 형성하게 되고 또 하나의 중심 Agent가 가장 효율적인 라우팅 경로를 설정하여 포워딩 테이블을 만들어 데이터를 전송하게 된다.

#### IV. 실험 결과

##### 1. 실험 파라미터

논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 표 1에서와 같이 파라미터를 두었다. 각 노드에 독립적인 라우팅 테이블을 만들기 위해 3개의 Agent를 두어 50m, 150m, 250m의 전송 거리를 설정하였다.

표 1. 실험 파라미터

파라미터	값
Simulation Time	2500s

MAC	IEEE 802.11
Traffic type	CBR
Traffic size	200 byte
Traffic rate	400 bps
Link data rate	2 Mbps
Routing protocol	DSDV
Number of Tx power	3(50m, 150m, 250m)

##### 2. 에너지 모델

이 논문에서는 [5]에서 사용한 모델을 이용하였다. 이 모델에서 송수신하기 위한 에너지  $E_{elec}=50nJ/bit$  로 놓았고, transmitter amplifier  $amp = 100 pJ/bit/m^2$  놓았다. 데이터를 송수신 하기 위한 에너지 소비량은 K-bit 메시지와 거리 d 라고 아래와 같이 계산하였다.

##### Transmitting

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx\_elec}(k) + E_{Rf}(k, d)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx\_elec} * k + E_{Rf} * k * d^2$$

##### Receiving

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx\_elec}(k)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx\_elec} * k$$

##### 3. 실험 결과

논문의 실험에서는 센서 노드들의 개수를 64개로 놓았다. 모든 센서 노드들은 수집된 정보를 특정 목적 노드로 데이터를 보내게 된다. 또한 모든 노드가 균일하게 위치한 경우와 랜덤하게 위치한 경우에 대해 모두 실험을 하였다.

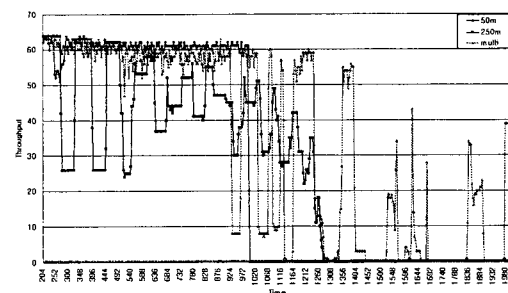


그림 8. 균일하게 위치한 경우의 실험 결과

그림 8은 모든 노드가 균일하게 위치한다는 가정 하에 단위 전력 하나만을 사용한 기준이 프로토콜과 제안된 알고리즘의 네트워크 지속 시간을 나타낸 그

래프이다. 그림에서 보는 것과 같이 전송 거리가 50m인 경우, 각각의 노드 에너지 소모량은 적다. 하지만 특정 목적 노드와 가까이 있는 노드들에게 네트워크의 모든 데이터가 전달되고, 이로 인해 특정 노드들의 에너지 소모가 빠르게 진행되어 기능을 상실하게 된다. 이 특정 노드가 에너지 소모를 다 함으로써 다른 많은 노드가 많은 에너지를 가지고 있음에도 불구하고 전체 네트워크 기능이 마비된다.

250m의 경우, 긴 전송 거리로 인해 에너지 소비를 많이 하게 된다. 제안된 알고리즘을 사용한 경우, 가장 에너지 효율이 좋은 짧은 전송 거리를 이용해 데이터를 보내게 된다. 하지만 50m를 사용한 네트워크와는 다르게 중간의 특정 노드가 기능을 상실했을 때, 적응적으로 전송 거리를 바꾸어서 데이터를 전송하게 되므로 가장 긴 네트워크 수명을 유지한다.

그래프에서 보면, 네트워크 전송 데이터양이 급격히 떨어졌다 올라오는 것을 볼 수 있다. 이는 특정 노드가 기능을 상실했을 때 데이터 전송이 중단되었다가 단위 전력을 바꾸어 경로를 재설정하게 되어 데이터를 전송하게 되는 과정을 나타내게 된다.

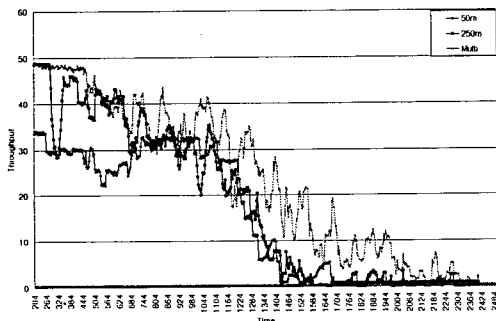


그림 9. 랜덤하게 위치한 경우의 실험 결과

그림 9는 모든 노드들이 랜덤하게 위치할 때 고정된 단일 전력을 사용한 프로토콜과 제안한 알고리즘을 이용하여 네트워크 지속 시간을 나타낸 그래프이다. 이 실험은 네트워크의 노드들이 랜덤하게 위치하고 이를 수십 번 반복하여 평균을 낸 값이다. 50m 경우 초반 시간 당 전송 받은 데이터양이 다른 두 가지의 네트워크보다 훨씬 적은 것을 볼 수 있는데 이는 노드가 랜덤하게 놓이게 되므로 인해 특정 경우 노드들 간의 통신을 하지 못해 데이터를 전송하지 못하는 경우가 발생하기 때문이다.

노드들이 랜덤하게 위치한 경우에도 단일 전송 전

력을 사용한 것보다 제안된 알고리즘에 의한 네트워크 수명이 길게 나타나는 것을 볼 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 센서 네트워크에서의 네트워크 수명을 극대화시키기 위한 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 기존의 공통의 단위 전력을 사용하는 네트워크와의 비교, 분석을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 실험해 보았다. 모든 노드가 균일하게 위치하였을 때, 제안한 프로토콜이 기존의 방식보다 네트워크 수명이 더 오래감을 볼 수 있었다. 또한 센서 네트워크의 특성을 고려하여 노드들이 랜덤하게 위치한 경우에도 제안한 프로토콜의 성능이 우수하다는 것을 보였다. 하지만 제안한 프로토콜의 문제점도 나타났다. 우선 제안한 알고리즘은 여러 개의 단위 전력이 서로 독립적인 라우팅 테이블을 형성하게 된다. 이로 인해 기존의 방식에 비해 라우팅 업데이트를 위한 제어 패킷의 양이 크게 늘어났다. 또한 특정 노드가 기능을 상실하여 새로운 라우팅 경로를 설정하는데 걸리는 시간이 매우 길다는 것을 볼 수 있었다.

## 【참고문헌】

- [1] Jeong Uk Kong, Gil jae Lee, Ok Hwan Byeon "Design and Performance Evaluation of Maximum Remaining Energy Constrained Directed Diffusion Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks" in JCCI, 2005.
- [2] R. Zheng, J. Hou, and L. Sha, "Asynchronous wakeup for ad hoc networks," in *The Fourth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing MobiHoc*, Annapolis, Maryland, 2003.
- [3] P. Gupta and P. R. Kumar, "Critical power for asymptotic connectivity in wireless network," in *Stochastic Analysis, Control, Optimization and Applications: A Volume in Honor of W.H. Fleming*, W. M. McEneaney, G. Yin, and Q. Zhan, Eds. Birkhauser, Boston, 1998, pp. 547-566.
- [4] P. Gupta and P. R. Kumar, "The capacity of wireless networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. IT-46, pp. 388-404,

2000.

[5] E. Shih, P. Bahl, and M. Sinclair, "Wake on wireless: An event driven energy saving strategy for battery operated devices," in *Proceedings of ACM MOBICOM*, 2002.

Biography



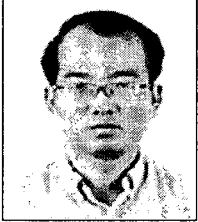
**송 영 아**

1990년 전남대학교 전산통계학과 졸업  
2000년 건국대학교 대학원 정보통신학과(공학석사)  
2004년 경희대학교 대학원 정보통신망관리학과(박사수료)

1993년~현재 한국정보통신기능대학교 교수

<주관심분야> Network

<이메일> yasong@icpc.ac.kr



**김 정 근**

1990년 연세대학교 전기공학과 졸업  
1992년 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1999년 Ph.D. Electrical and Computer Engineering, University of Arinoan, Tucson, Arizona, USA.

2003년~현재 경희대학교 교수<주관심분야> Sensor Network, RFID, Wireless communication Networks

<이메일> jg\_kim@khu.ac.kr



**이 재 현**

1995년 경희대학교 화학과 졸업  
2003년~현재 경희대학교 정보통신대학원 정보통신망공학과(공학석사)

<주관심분야> Sensor Network

<이메일> angelofljh@khu.ac.kr