

# 에너지 인지 Surge 라우팅 프로토콜 구현

이선현<sup>0</sup>, 최용철, 이승형, 정광수

광운대학교 전자공학부

sunlee@cclab.kw.ac.kr, {wchoi, shrlee, kchung}@daisy.kw.ac.kr

## Implementation of the Energy-aware Surge Routing Protocol

Sunhun Lee<sup>0</sup>, WoongChul Choi, Seung Hyong Rhee, and Kwangsue Chung

School of Electronics Engineering, Kwangwoon University

### 요 약

최근 정보통신 기술의 발전은 유비쿼터스 컴퓨팅이라는 새로운 정보통신 혁명을 야기하게 되었고, 그로 인해 무선 센서 네트워크의 필요성이 제기되고 있다. 빛, 온도, 습도와 같은 물리적인 정보 수집을 목적으로 가지는 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 기존의 라우팅 프로토콜과는 다른 제약 사항 및 요구 사항을 갖는다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경을 고려한 새로운 라우팅 프로토콜로 Energy-aware Surge 라우팅 프로토콜을 제안 및 구현하였다. Energy-aware Surge 프로토콜은 배터리 리소스에 제약을 갖는 센서 네트워크의 환경을 고려하여, 기존 라우팅 프로토콜과 다르게 센서 노드의 잔여 에너지를 기반으로 계층적인 경로를 설정하게 된다. 성능 검증을 위해 기존 Surge 라우팅 프로토콜을 수정하여 Energy-aware Surge 프로토콜을 구현하였으며, 상용 센서 플랫폼인 MICAz를 이용하여 성능 실험을 수행하였다. 성능 실험 및 시뮬레이션 결과를 통해, 제안하는 Energy-aware Surge 라우팅 프로토콜이 무선 센서 노드의 잔여 에너지를 고려하여 패킷의 전달 경로를 적절하게 선택하며, 이를 통해 무선 센서 네트워크의 전체 라이프타임을 효과적으로 증가시키는 것을 확인할 수 있었다.

### 1. 서 론

최근 정보통신 기술의 비약적인 발전은 기존의 계산기로서의 컴퓨터가 아닌 정보단말로의 컴퓨터로 발전하여 더욱 더 인간의 생활에 밀접한 영향을 주고 있다. 이러한 기술의 진보는 유비쿼터스 컴퓨팅이라는 새로운 정보통신 혁명을 야기하게 되었고, 그로 인해 무선 센서 네트워크의 필요성이 제기되고 있다.

무선 센서 네트워크는 물리적인 공간에서 빛이나 온도, 습도 등을 측정하는 센싱 기능과 주변의 노드들과 무선으로 통신할 수 있는 통신 기능을 갖춘 센서 노드들로 이루어진 특수한 형태의 네트워크이다. 이러한 목적을 위해 무선 센서 네트워크를 이루는 센서 노드들은 주변의 물리적인 정보를 수집하여 중앙의 Sink 노드에 전달하며, 물리적인 정보의 전달 과정에서 무선 센서 네트워크에 적합한 데이터 중심(Data-centric) 라우팅 프로토콜이 필요하게 된다 [1].

수집된 정보의 효율적인 전송을 위해서, 무선 센서 네트워크에서 라우팅 프로토콜 설계시 고려해야할 사항으로는 최단 경로, 무선 링크의 상태, 남은 에너지량, 네트워크 토폴로지 변화 등이 있다. 기존의 유선 네트워크와 달리, 무선 센서 네트워크는 노이즈나 간섭 등에 의한 에러 발생이 빈번하고 제한된 용량의 배터리 리소스에 의존하는 특징을 가지므로, 링크상태나 센서 노드의 잔여 에너지에 대한 고려가 중요하다고 할 수 있다.

기존의 무선 센서 네트워크에서 사용되는 대표적인 데이터 중심 라우팅 프로토콜로 TinyOS에 구현되어 있는 Surge 라우팅 프로토콜이 있다. Surge 라우팅은 주기적인 라우팅 정보의 전달을 통해 무선 노드들 사이에 부모(Parent)-자식(Child)의 계층 구조를 생성하며, 이렇게 생성된 경로를 통해 정보를 전달하게 된다. 하지만, Surge 라우팅은 무선 센서 네트워크에서

중요한 이슈인 잔여 에너지에 대한 고려가 부족하다는 한계를 갖는다 [2, 3].

본 논문에서는 TinyOS 기반의 라우팅 프로토콜인 Surge 라우팅의 한계를 개선한 Energy-aware Surge를 제안하였다. Energy-aware Surge 라우팅은 무선 센서 네트워크의 특징 중의 하나인, 에너지 제약을 고려하여, 무선 노드의 잔여 에너지를 라우팅 경로 설정의 중요 파라미터로 사용하였다. 이를 통해 기존 Surge 라우팅에 비교하여 무선 센서 네트워크의 전체 라이프타임(lifetime)을 개선하였다.

본문의 2장에서는 기존 TinyOS 기반의 라우팅 프로토콜인 Surge 라우팅에 대해서 기술하였으며 3장에서는 잔여 에너지를 고려한 Energy-aware Surge 라우팅에 대한 소개와 구현 내용을 기술하였다. 4장에서는 간단한 실험을 통해, 구현한 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하였으며 마지막으로 5장에서는 결론을 맺었다.

### 2. Surge 라우팅 프로토콜

빛, 온도, 습도와 같은 물리적인 정보 수집을 목적으로 가지는 무선 센서 네트워크는 센싱한 정보를 중앙의 Sink 노드에 전달하기 위해 적절한 라우팅 프로토콜이 필요하게 된다. 현재, 무선 센서 네트워크의 소프트웨어 플랫폼으로 널리 사용되고 있는, TinyOS에 구현되어 있는 라우팅 프로토콜로는 Surge, MintRoute, DSDV, TinyAODV, TinyDiff가 있으며 Surge는 대표적인 데이터 중심 라우팅 프로토콜이다 [2].

Surge 라우팅 프로토콜은 부모(Parent)-자식(Child) 간의 계층(Hierarchical) 구조를 가지고 경로를 설정하며, 주기적으로 센싱한 물리적인 정보를 중앙의 Sink 노드에 전달하게 된다. 계층적인 라우팅 경로의 설정은 Sink 노드와 각각의 무선 노드에서 주기적으로 브로드캐스트되는 라우팅 메시지에 포함되어 있는 최단 경로와 무선 링크의 채널 상태를 고려하여 이루어진다 [3]. 이웃 노드의 라우팅 정보를 수신한 노드는 라우팅 테이블을 기반으로 우선적으로 Sink 노드까지 경로가 짧은 노드를, 경로가 같을 경우, 채널 상태가 더 좋은 노드를 부모 노드로

\* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (R01-2005-0000-10934-0) 지원으로 수행되었음.

선택하게 된다. 채널의 상태는 식 (1)과 같이, 패킷 손실률에 따라 판단하게 된다.

$$Cost = \frac{Number\ of\ Received\ Packets}{Number\ of\ Sent\ Packets} \quad (1)$$

그림 1은 Surge 라우팅 프로토콜의 전체 구조를 보여준다. 형성된 계층 구조를 기반으로 센싱된 정보는 자식 노드로부터 부모 노드로 전달되며, 부모 노드는 다시 자신의 부모 노드에게 정보를 전달함으로써 최종적으로 중앙의 Sink 노드에게 수집된 정보를 전달하게 된다. 즉, 전형적인 "Sink node collecting" 형식의 센서 네트워크 응용이라고 할 수 있다.

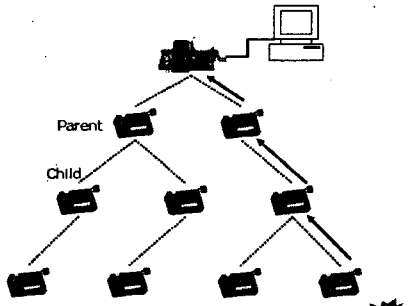


그림 1. Surge 프로토콜 전체 구조

잔여 에너지에 대한 고려는 매우 중요하다. 그림 2에서 확인할 수 있듯이, 센서 노드의 패킷 송.수신 또는 휴지상태에서의 에너지 소비 정도는 차이를 가지므로 불필요한 패킷 송.수신을 줄이는 것을 통해 무선 센서 네트워크의 라이프타임을 효과적으로 증가시킬 수 있다.

그림 3은 본 논문에서 구현하는 Energy-aware Surge 라우팅의 경로 설정 방법을 나타낸다. 구현하는 Energy-aware Surge 라우팅 프로토콜은 무선 센서 네트워크의 라이프타임을 증가시키기 위해, 경로 설정의 중요 파라미터로 무선 노드의 잔여 에너지를 고려하였다. 기존의 Surge 라우팅 프로토콜과 마찬가지로 Energy-aware Surge 라우팅은 경로를 선택하는 기준으로 최단 경로를 우선으로 고려하며, 홉 수가 같을 경우, 노드의 잔여 에너지량을 기준으로 부모-자식 간의 계층 구조를 설정하게 된다. 잔여 에너지가 상대적으로 많은 노드로 경로를 선택함으로써 Energy-aware Surge는 네트워크의 라이프타임을 효과적으로 증가시킬 수 있다.

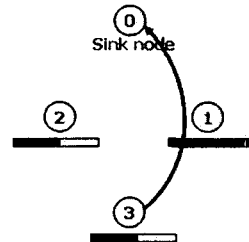


그림 3. 경로 설정 방법

그림 4는 제안하는 Energy-aware Surge 라우팅의 경로 설정 알고리즘을 나타낸 것이다. 주기적인 라우팅 패킷에 의해 이웃 노드로부터 라우팅 정보를 수신한 무선 노드는 자신의 라우팅 테이블과 비교하여 최단 경로를 가지고, 잔여 에너지가 많은 노드를 자신의 부모 노드로 선택하게 된다.

```

for (int i=0; i<# of neighbor; i++) {
    if (min_hopcount > neighbor[i].hopcount) {
        min_hopcount = neighbor[i].hopcount;
        max_power = neighbor[i].power;
        parent_nodeid = neighbor[i].nodeid;
    } else if (min_hopcount == neighbor[i].hopcount
        && max_power < neighbor[i].power) {
        min_hopcount = neighbor[i].hopcount;
        max_power = neighbor[i].power;
        parent_nodeid = neighbor[i].nodeid;
    }
}
    
```

그림 4. 경로 설정 알고리즘

### 3. Energy-aware Surge 라우팅

#### 3.1 에너지 소비 모델

잔여 에너지를 고려하는 라우팅 프로토콜을 효율적으로 구현하기 위해, 먼저 제한된 에너지 자원을 가지는 무선 센서 노드에서 에너지 소비가 어떻게 발생하는지를 살펴볼 필요가 있다. 배터리 리소스에 대한 제약을 가지는 무선 센서 노드에서의 에너지 소비 모델을 그림 2에 나타내었다. 무선 센서 노드의 에너지 소비는 크게 3가지로 구분된다. 첫째는 노드가 데이터 송.수신에 관여하지 않는 휴지(Ide)상태로, 가장 작은 에너지 소비를 갖는다. 둘째는 노드가 센싱된 정보나 라우팅 정보를 전달하는 전송상태로 가장 높은 에너지 소비를 갖는다. 마지막으로 이웃 노드들의 전송 데이터를 수신하는 수신상태로 휴지상태에 비해서 높은 에너지 소비를, 전송상태에 비해서 낮은 에너지 소비를 보인다 [4].

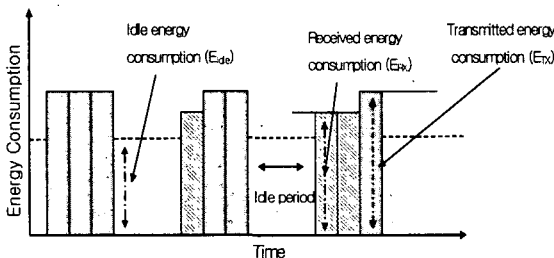


그림 2. 무선 노드의 에너지 소비 모델

#### 3.2 Energy-aware Surge 라우팅 기법

일반적으로 노드를 대체하기 어려운 무선 센서 네트워크 환경에서 수집된 정보를 중앙의 Sink 노드에 성공적으로 전달하기 위해서는 네트워크의 라이프타임이 가능할수록 길어야 한다. 배터리 리소스에 제약을 가지는 센서 노드의 특성상, 센서 네트워크의 전체 라이프타임을 증가시키기 위해 센서 노드의

#### 3.3 Energy-aware Surge 라우팅 구현

본 논문에서 제안하는 Energy-aware Surge 라우팅 프로토콜 구현을 위해, Crossbow의 상용 무선 센서 플랫폼인 MICAz를 사용하였다 [5]. 그림 5는 노드의 잔여 에너지를 위해 TinyOS에 구현되어 있는 기존의 Surge 라우팅 프로토콜 구성에 잔여 에너지 측정 모듈을 추가 구현한 것을 보여준다.

기존의 Surge 라우팅 프로토콜에서 부모-자식의 계층 구조 설정은 라우팅 테이블을 기반으로 경로를 결정하는 MultiHopLEPSM 모듈에서 제공한다. Energy-aware Surge 라

우팅 프로토콜 구현을 위해, 무선 노드의 잔여 에너지를 측정하기 위한 Voltage 모듈을 nesC를 이용하여 추가로 구현하였으며, 라우팅 정보 전송시, 잔여 에너지량을 포함하기 위해 Voltage 모듈을 MultiHopLEPSM에 연결하였다.

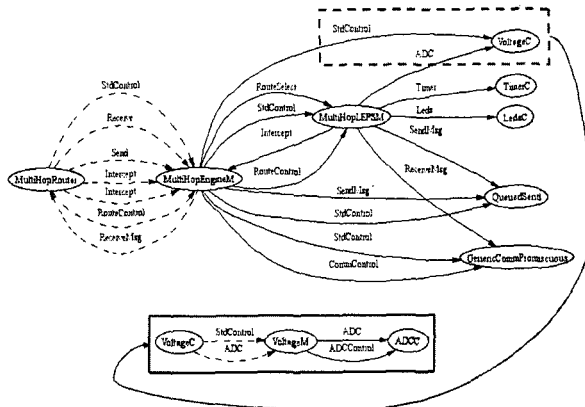


그림 5. Energy-aware Surge 라우팅 구현

4. 실험 및 성능 평가

4.1 실험 환경

본 논문에서 구현한 Energy-aware Surge 라우팅의 성능 검증은 위해 그림 6과 같은 실험 환경을 통해 성능 검증 실험을 수행하였다. 전체 센서 노드는 Sink 노드를 포함하여 5개의 MICAz 플랫폼으로 구성하였으며 TinyOS 1.1.14 버전에 Energy-aware Surge를 구현하여 각각의 센서 플랫폼에 튜닝하였다 [2, 5].

1번 노드의 경우, 가장 많은 잔여 에너지를 가진 배터리를 사용하였으며, 각 센서 노드의 신호 전송 범위는 3~31의 범위에서, 최소값인 3으로 설정하였다. 성능 검증을 위해, TinyOS에 포함되어 있는 응용프로그램인 SerialForwarder와 네트워크의 라우팅 경로를 확인할 수 있는 도구인 Surge-View를 사용하였다.

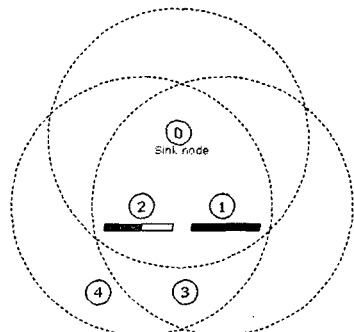
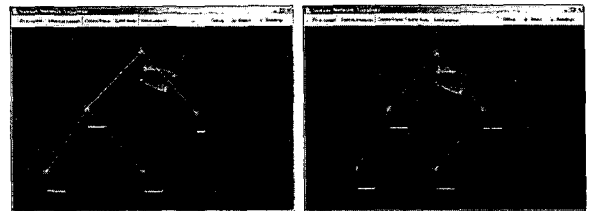


그림 6. 실험 환경

4.2 Energy-aware Surge 라우팅의 성능 검증

그림 7은 기존의 Surge 라우팅과 제안하는 Energy-aware Surge 라우팅의 성능 검증 결과이다. 기존의 Surge 라우팅은 노드 0, 2, 3, 4로 네트워크가 형성되었을 경우, 새롭게 노드 1이 추가되더라도 홉 수나 링크의 상태가 크게 좋아지지 않을 경우, 노드 3, 4의 패킷은 노드 2를 통해 Sink 노드에 전달된다. 이러한 과정에서 노드 2는 패킷 중계 역할에 의한 추가적인 에너지 소비가 발생하며 빠르게 에너지가 소실된다. 노드 2

가 에너지 소실로 네트워크에 포함되지 않을 경우, 노드 3과 노드 4는 패킷의 전달을 위해 노드 1을 통한 경로로 재설정될 하게 된다. 노드 4는 노드 1까지 전송 범위가 허용되지 않으므로 노드 3을 거쳐 패킷을 전송하게 되며, 노드 3에서는 노드 4의 패킷 중계에 의한 추가적인 에너지 소비가 발생한다. 이러한 과정에 의하여 Surge 라우팅에서 센서 노드의 잔여 에너지를 고려하지 않을 경우, 네트워크의 전체 라이프타임이 감소하는 결과를 발생하게 된다. 하지만 Energy-aware Surge 라우팅에서는 잔여 에너지량이 많은 노드 1이 네트워크에 들어올 경우, 노드 3은 기존의 노드 2를 통한 경로를 노드 1로 수정하게 된다. 결과적으로, 패킷 전송에 따른 부하를 잔여 에너지가 많은 노드로 분산시킴으로써 네트워크의 전체 라이프타임을 증가시키는 결과를 나타내게 된다.



(a) Original Surge (b) Energy-aware Surge

그림 7. 성능 비교

5. 결론

기존의 네트워크와 다르게 정보 수집을 목적으로 가지는 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 무선 네트워크의 환경이나 센서 네트워크의 제약사항으로 인해 다른 요구 사항을 갖는다. 이러한 센서 네트워크에서 사용되는 대표적인 데이터 중심 라우팅 프로토콜로서 Surge 프로토콜이 있다. Surge 프로토콜은 부모-자식의 계층 구조를 가지는 라우팅 프로토콜로 경로를 선택하는데 홉 수와 무선 링크의 상태를 고려한다. 하지만, 에너지 리소스에 제약을 가지는 센서 네트워크 환경에서 센서 노드의 잔여 에너지에 대한 고려가 부족하다는 한계를 갖는다.

본 논문에서는 기존의 Surge 라우팅 프로토콜을 개선하여 센서 노드의 잔여 에너지에 기반하여 경로를 설정하는 새로운 라우팅 프로토콜로 Energy-aware Surge를 구현하였다. Energy-aware Surge 프로토콜은 경로 설정을 위한 파라미터로 홉 수뿐만 아니라 노드의 잔여 에너지를 고려함으로써 센서 네트워크의 전체 라이프타임을 증가시킬 수 있다. 센서 플랫폼을 이용한 성능 실험을 통하여 제안하는 Energy-aware Surge 라우팅 프로토콜이 잔여 에너지를 고려하여 적절하게 경로를 선택하며, 이를 통해 네트워크의 라이프타임을 증가시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

[1] <http://www.cs.berkeley.edu/~culler>  
 [2] <http://www.tinyos.net>  
 [3] D. Gay, P. Levis, R. Behren, M. Welsh, E. Brewer, and D. Culler, "The nesC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems," In ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation, 2003.  
 [4] H. Singh, S. Saena and S. Singh, "Energy Consumption of TCP in Ad Hoc Networks," Wireless Networks, pp. 531-542, 2004.  
 [5] <http://www.crossbow.com>