

# 무선 센서 네트워크에서 정적 그리드 기반의 에너지 효율적 라우팅 프로토콜

준회원 최재민\*, 정회원 문형진\*\*, 정윤수\*, 종신회원 이상호\*\*\*\*

## An Energy-Efficient Routing Protocol based on Static Grid in Wireless Sensor Networks

Jae-min Choi\* Associate Member, Hyung-jin Mun\*\*, Yoon-su Jeong\* Regular Members, Sang-ho Lee\*\*\*\* Lifelong Member

### 요약

최근 무선 센서 네트워크는 언제, 어디서나 통신이 가능한 환경을 구현하는 유비쿼터스 컴퓨팅 기술의 한 분야로 각광받고 있다. 관리자가 감지 대상 지역을 이동하면서 정보를 수집하고 사용하기 위해서 싱크 노드의 이동성이 필수적으로 요구된다. 무선 센서 네트워크에서 이동 싱크 노드와 관련된 가장 대표적인 기법으로 두 계층 데이터 전송 방식(TTDD)이 제안되었으나, 많은 제어 패킷으로 에너지 효율성이 떨어진다. 이를 해결하기 위해 클러스터 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜(CBPER)이 제안되었다. 하지만 CBPER은 보이드 그리드가 발생하면 싱크 노드 또는 소스 노드까지 데이터가 정확하게 전달되지 못한다는 한계를 가진다.

이 논문에서는 CBPER의 데이터 전송 실패를 해결하고 에너지 소비를 줄일 수 있는 무선 센서 네트워크에서 이동 싱크 노드를 적용한 정적 그리드 기반의 에너지 효율적 라우팅 프로토콜을 제안한다. NS-2에 의한 성능평가를 통해 제안 기법이 CBPER 기법보다 약 34%정도 에너지 측면에서 효율적이며, 싱크 노드까지 더 정확한 데이터 전송이 이루어진다는 것을 증명하였다.

**Key Words** : Wireless Sensor Networks, Mobile Sink, Grid, Cluster, Routing Path, Ubiquitous

### ABSTRACT

Recently wireless sensor networks as a field of ubiquitous computing technology was in the limelight. To use and collect the necessary information, Sink node mobility is essential. TTDD(Two-Tier Data Dissemination) proposed most common technique associated with Mobile sink node in wireless sensor networks, but issues exist that the use of many control packet falls into the energy efficiency. The technique for solving problems is Cluster-Based Energy-efficient Routing protocol (CBPER). But CBPER does not transmit the data correctly to sink node or source node.

In this paper, we propose An Energy-Efficient Routing Protocol based on Static Grid using mobile sink nodes in order to solve the data transmission failure and reduce the energy consumption in Wireless Sensor Networks. We have evaluated it with the NS-2 simulator. Our results show that the proposed protocol saves the energy consumption up to 34% in comparison with CBPER. We also prove that the proposed protocol can transmit more accurate data to the sink node than CBPER.

\* 충북대학교 전자계산학과 네트워크보안 연구실(cjmin010@naver.com), (bukmunro@gmail.com)

\*\* 중국 연변과학기술대학 컴퓨터전자통신공학부 조교수(jinmun@gmail.com)

\*\*\* 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(shlee@chungbuk.ac.kr) (°:교신저자)

논문번호 : KICS2010-01-020, 접수일자 : 2010년 1월 20일, 최종논문접수일자 : 2010년 7월 15일

## I. 서 론

최근 유비쿼터스(Ubiquitous)에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 이로 인해 무선 센서 네트워크가 그 핵심 기술로 부각되고 있다. 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 수많은 소형 센서(sensor)들로 이루어져 있고, 이러한 센서들은 어떤 현상(phenomenon)을 감지하기 위해서 자가 구성한(self-organizing) 네트워크를 통해 유용한 정보를 제공한다. 그림 1은 센서 필드에 뿌려진 센서 노드들의 일반적인 구조를 보여준다<sup>[1][2]</sup>.

마이크로프로세서와 무선 통신 기술의 발전은 센서들을 작고 저렴하게 만들었으며, 이로 인해 무선 센서 네트워크는 군대, 가정, 산업, 교통, 의료 등의 다양한 분야에서 응용되고 있다<sup>[3]</sup>.

무선 센서 네트워크는 싱크 노드(sink node)와 센서 노드(sensor node)들로 구성된다. 싱크 노드는 데이터를 수집하여 직접 사용하거나 다른 사용자에게 전달해주는 기능을 갖고 있으며, 센서 노드는 이벤트를 센싱하는 기능, 센싱된 데이터를 처리하는 기능, 센서 노드들 간의 단거리 무선 통신 기능, 그리고 전력을 공급하는 기능을 수행한다.

센서 노드는 응용 목적에 따라 다양한 요구사항이 존재하지만 일반적인 요구사항만을 기술하면 다음과 같다<sup>[4][5]</sup>.

- 센서 노드는 대부분 접근이 용이하지 않거나 불편한 장소에 뿌려지며, 사람이 손으로 배터리를 교체하거나 재충전하는 방법은 현실적이지 못하다.
- 무선 센서 네트워크에서는 많은 센서 노드들이 사용되어지는 만큼 저가격으로 제작되어야 한다.
- 센서 노드가 네트워크에서 자가 구성되기 때문에 센서 노드는 네트워크 토폴로지 변화의 수용 및 해결 능력을 가지고 있어야 한다.

언제, 어디서나 통신이 가능한 유비쿼터스 환경

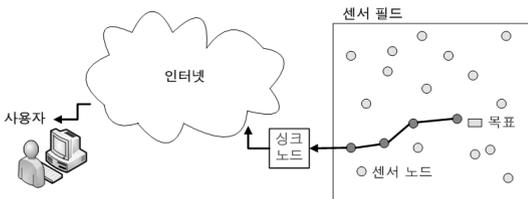


그림 1. 무선 센서 네트워크의 구조

을 구현하기 위해 싱크 노드의 이동성이 새롭게 부각되고 있다. 무선 센서 네트워크에서 이동 싱크 노드와 관련된 가장 대표적인 기법으로 두 계층 데이터 전송 방식(TTDD; Two-Tier Data Dissemination approach)을 들 수 있지만, 이벤트가 발생할 때마다 그리드를 생성을 위한 많은 제어 패킷의 사용으로 에너지 효율성이 떨어진다는 문제점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 클러스터 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜(CBPER; Cluster-Based Power-Efficient Routing)이 제안되었다. 그러나 CBPER 기법은 라우팅 경로에 위치한 그리드 내에 센서 노드가 없거나 센서 노드의 에너지가 모두 소비되었을 경우 목적지 노드까지 정확한 데이터 전달이 이루어지지 못하는 문제점을 가지고 있으며, 라우팅 경로 설정시 특정 노드들의 불필요한 에너지가 소모가 이루어진다.

이 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 제안된 CBPER 기법의 문제점을 해결하기 위해 정적 그리드 기반으로 한 에너지 효율적 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안 기법은 그리드 내에 배치된 센서 노드의 수를 기준으로 가장 많은 수를 갖고 있는 클러스터 헤더를 라우팅 경로에 우선적으로 선정한다. 이는 시간이 흐를수록 보이드 그리드 발생을 줄일 뿐 아니라, 모든 그리드에 랜덤으로 배치된 센서 노드의 수가 거의 동일한 수를 형성하여 싱크 노드 또는 소스 노드에 정확한 데이터 전송뿐 아니라 데이터 전달 실패율을 낮춰준다. 또한 제안 기법은 최적 라우팅 지역을 설정하여 최단 거리 경로를 통해 라우팅이 수행되는 만큼 CBPER 기법보다 에너지 소비를 줄여 네트워크가 오랫동안 유지될 수 있다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. II장은 관련연구로서 라우팅 프로토콜에 대해 소개한다. III장에서는 제안 기법의 개요를 정의하고 가정 및 요구사항, 그리고 동작에 대해 설명한다. IV장에서는 프로토콜들을 비교 분석하기 위해 실험 환경과 실험모델을 설계하고 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 기존 CBPER에 비해 에너지 효율성과 정확한 데이터 전달을 증명한다. 마지막으로 V장에서 결론 및 향후 과제에 대해서 살펴본다.

## II. 관련연구

### 2.1 TTDD

무선 센서 네트워크에서 DD(Directed Diffusion), LEACH 등의 라우팅 프로토콜들이 제안되었다<sup>[6][7]</sup>.

그러나 대부분의 라우팅 프로토콜은 고정 싱크 노드를 대상으로 하기 때문에 싱크 노드가 이동성을 갖을 경우 정확한 데이터 전달을 할 수 없었다. 이를 해결하기 위해 TTDD가 제안되었다<sup>8)</sup>. TTDD는 모든 센서 노드가 데이터 전송에 참여하기 때문에 에너지 효율성이 떨어진다는 단점을 보완시켰다. TTDD는 이벤트를 감지한 소스 노드를 중심으로 그리드가 생성되고 교차점에 위치한 센서 노드들을 통해 데이터를 전송한다. 즉, 싱크 노드가 데이터를 필요하면 먼저 주변에 있는 지역 보급 노드(Immediate Dissemination node)를 찾기 위해 지역적 플러딩을 수행한다. 그림 2에서 보는 바와 같이 지역 보급 노드는 교차점에 위치한 상류 보급 노드(Upstream Dissemination node)들을 통해 쿼리 패킷을 소스 노드에게 전송하고 소스 노드도 교차점에 위치한 하류 보급 노드(Downstream Dissemination node)들을 통해 싱크 노드에게 데이터를 전송한다.

초기 싱크 노드는 한 홉에 있는 노드 중 근접한 노드 하나를 선택하여 프라이머리 에이전트 노드(Primary agent node)로서의 역할을 수행하도록 한다. 싱크 노드가 소스 노드에게 전송하는 데이터 요구 쿼리 패킷에는 프라이머리 에이전트 노드의 위치정보도 포함되어 있기 때문에 데이터 패킷은 항상 프라이머리 에이전트 노드를 통해 소스 노드로 전달된다. 싱크 노드가 프라이머리 노드와 통신할 수 없는 거리까지 벗어나게 되면 이미디어트 에이전트 노드(Immediate agent node)를 선정하여 프라이머리 에이전트 노드와 싱크 노드와의 다리 역할을 수행함으로써 싱크 노드는 데이터를 안전하게 전

송받게 된다. 그러나 TTDD는 이벤트가 발생할 때마다 소스 노드를 중심으로 그리드가 생성되기 때문에 이벤트가 동시 다발적으로 발생할 경우 그리드 생성을 위한 제어 패킷의 수가 증가하며, 이로 인해 센서 노드들의 에너지가 급격하게 소모된다는 단점을 가진다.

## 2.2 CBPER

CBPER은 하나의 영구적인 그리드 구조와 클러스터 개념을 사용하여 제어 패킷의 수를 줄임으로써 TTDD의 단점을 해결한 라우팅 프로토콜이다<sup>9)</sup>. CBPER은 이벤트를 감지한 소스 노드가 자신이 위치한 그리드의 클러스터 헤더를 통해 세로 방향에 위치한 클러스터 헤더로 데이터 광고 패킷을 전송한다. 이후 싱크 노드가 데이터를 원할 경우 자신이 위치한 클러스터 헤더를 통해 가로 방향에 위치한 그리드의 클러스터 헤더로 데이터 요구 쿼리 패킷을 보낸다. 두 패킷이 교차하는 클러스터 헤더를 중심으로 싱크 노드와 소스 노드 간의 경로가 생성된다. 소스 노드는 생성된 경로를 통해 싱크 노드가 있는 그리드의 클러스터 헤더에게 데이터를 전송한다. 클러스터 헤더는 싱크 노드 근접거리에 위치한 이미디어트 에이전트 노드를 통해 싱크 노드에게 데이터를 전송한다. 만약 싱크 노드가 데이터 패킷이 전달받기 전에 이동하면 기존의 이미디어트 에이전트 노드와 통신을 수행하게 되고, 통신거리에서 벗어나면 싱크 노드 주변의 새로운 이미디어트 에이전트 노드를 선택하여 경로를 유지한다.

그러나 CBPER은 패킷이 세로와 가로방향의 모든 클러스터 헤더들에게 전달되어지기 때문에, 라우팅 경로가 만들어지기 위해서는 모든 그리드 내에 하나 이상의 센서 노드가 존재해야 한다. 만약 라우팅 경로상에 보이드 그리드가 존재할 경우 데이터 전달이 이루어지지 못한다. 또한, 세로와 가로방향에 위치한 그리드의 클러스터 헤더가 전달받고 저장하기 때문에 불필요한 많은 에너지가 소비와 기존보다 넓은 센서 필드에서 사용된다면, 라우팅 경로에 참여하는 모든 센서 노드들의 에너지 소비가 커진다. 그림 3은 싱크 노드가 전송한 데이터 요구 패킷이 보이드 그리드(1,3)로 인해 그리드 아이디(0,3)의 클러스터 헤더에게 전송되지 못하여 소스 노드에서 싱크 노드까지 데이터 전달이 이루어지지 못하는 경우를 보여준다.

그 이외의 관련 연구로 데이터 광고 패킷의 전송 범위를 최소화하여 CBPER보다 적은 양의 패킷

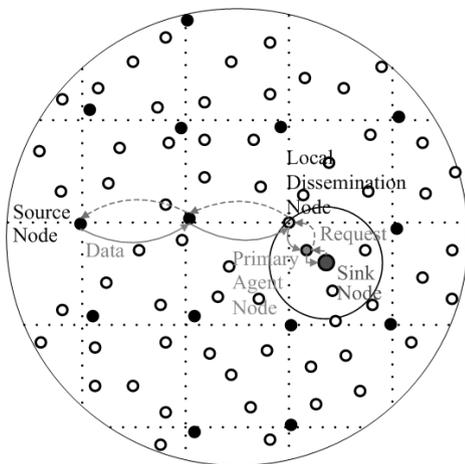


그림 2. TTDD 기법의 데이터 전달 동작 과정

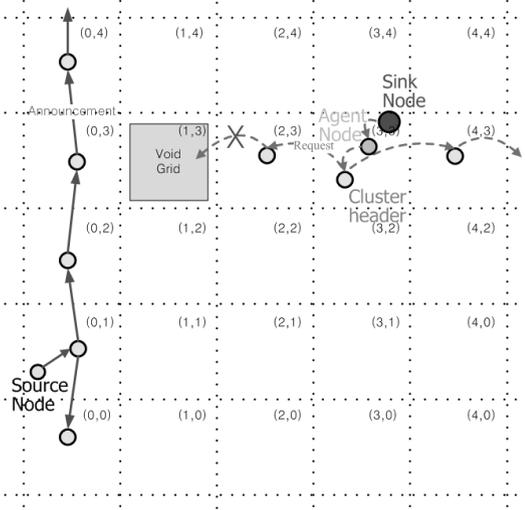


그림 3. CBPER 기법에서 void 그리드에 의한 데이터 전송 실패

으로 라우팅 경로를 설정하여 CBPER보다 에너지 효율을 향상시켰고<sup>[10]</sup>, 보이드 그리드가 발생하면 데이터 전송이 이루어지지 못한다는 CBPER의 문제점을 1-hop 포워딩을 허용하는 방법으로 해결하였다<sup>[11]</sup>.

### Ⅲ. 무선 센서 네트워크에서 정적 그리드 기반의 에너지 효율적 라우팅 프로토콜

#### 3.1 개요

무선 센서 네트워크에서 정적 그리드 기반의 에너지 효율적 라우팅 프로토콜은 정적인 그리드와 클러스터를 사용한다. 제안 기법은 각 그리드의 센서 노드의 수를 고려하여 가장 많은 수를 보유한 그리드의 클러스터 헤더를 이용하고 최적의 라우팅 지역을 선정하여 라우팅이 이루어진다. 이것은 센서 노드가 랜덤으로 뿌려진다는 것을 감안했을 때 현실성을 높여주고, 패킷의 수와 노드의 에너지 소비를 줄여 기존 기법들보다 네트워크의 생명주기를 오랫동안 연장시켜줄 수 있다. 또한 소스 노드와 싱크 노드 간에 최적의 라우팅 지역을 설정은 최단 거리 및 전송 시간을 단축한다. 그림 4는 소스 노드와 싱크 노드의 그리드 아이디를 통해 최적의 라우팅 지역을 설정하고 그 지역에서 라우팅이 수행되는 것을 보여준다. 만약 라우팅 경로가 최적의 라우팅 지역을 벗어나 설정될 경우 더 많은 그리드를 통해 전송되는 만큼 패킷의 수가 증가한다.

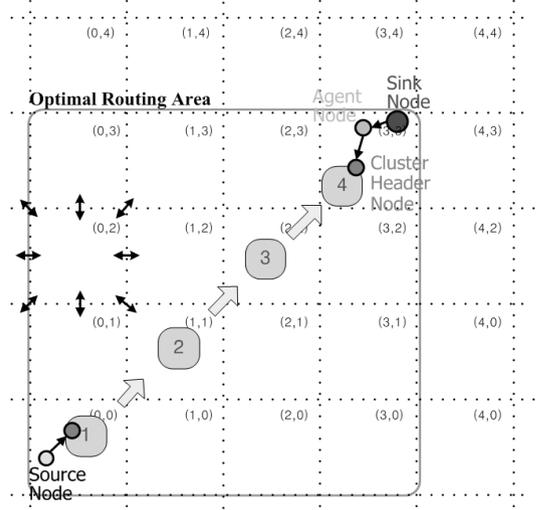


그림 4. 최적의 라우팅지역(Optimal Routing Area)과 최단 경로

#### 3.2 가정과 요구사항

제안 기법은 다음과 같은 몇 가지 가정과 요구사항이 전제된다.

- 모든 센서 노드들은 자신의 위치를 GPS(Global Positioning System)나 관리자의 수동 입력으로 알고 있다. 위치 정보는 그리드 생성을 위해 중요한 정보로 사용되며 효과적인 라우팅 경로를 구성할 수 있다.
- 모든 센서 노드들은 자신의 위치 변화가 없다. 모든 센서 노드는 센서 필드에 전개된 후에 고정된 상태에서 네트워크를 구성하지만 지진과 장마와 같은 자연적인 현상에 의해서 위치가 변화될 수 있다.
- 모든 센서 노드들은 자신의 배터리 양을 알고 있다. 무선 센서 네트워크는 모든 센서 노드들의 협동을 통해 구성되어지기 때문에 네트워크는 센서 노드들의 배터리 양을 감지하고 통제하여 센서 노드가 오랫동안 살아 있도록 하는 것이 가장 중요하다.

#### 3.3 제안된 라우팅 프로토콜 동작

이 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 크게 4가지의 동작으로 수행된다.

##### 3.3.1 그리드 생성과 클러스터링 구성

그림 5에서 보는 바와 같이 센서 필드에 센서 노드들이 뿌려지면 그리드가 가상으로 생성되고, 모든

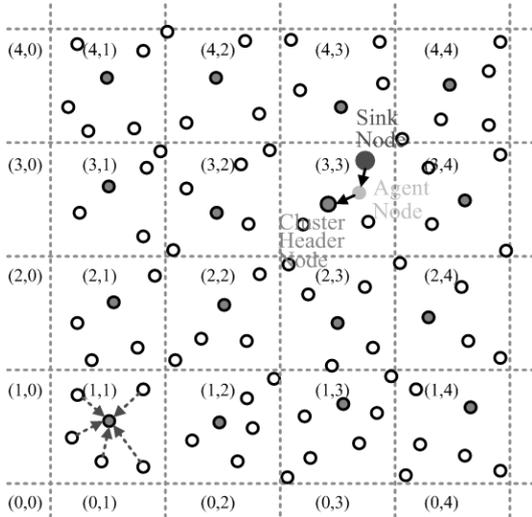


그림 5. 그리드 생성과 클러스터링 구성

센서 노드들은 GPS 장치를 이용하여 자신의 위치 정보를 통해 자신의 그리드 아이디를 부여받고 저장 공간에 저장한다. 클러스터는 센서 노드가 그리드 아이디를 기반으로 형성된다. 초기 모든 센서 노드는 지역적으로 플러딩(flooding)을 수행하고, 동일한 그리드 아이디를 가진 센서 노드들만이 통신이 유지되며, 그 노드들 중 하나를 랜덤(random)으로 클러스터 헤더로 선출한다. 클러스터 헤더는 자신에게 속해 있는 클러스터 멤버 노드의 수를 저장 공간에 저장한다. 클러스터 헤더가 일정한 에너지를 소비하면 새로운 클러스터 헤더를 선정하기 위해 헤더 공고 패킷을 플러딩한다. 그리고 그리드 내에 클러스터 멤버 노드들 중 배터리의 양과 헤더 공고 패킷이 다시 돌아오는데 걸린 시간을 기준으로 새로운 클러스터 헤더로 선정한다.

싱크 노드는 자신 주변의 노드 중 에이전트 노드를 하나 선정한다. 그리고 싱크 노드는 자신이 포함된 클러스터 헤더에게 에이전트 노드의 위치 정보가 포함된 싱크 공고 패킷을 전송한다. 싱크 노드를 포함하고 있는 클러스터 헤더는 싱크 공고 패킷에서 에이전트 위치 정보를 추출하여 저장하고 자신의 그리드 아이디와 미리 저장된 자신의 클러스터 멤버 노드의 수를 싱크 공고 패킷에 포함한 후 주변 클러스터 헤더에게 플러딩한다. 주변 클러스터 헤더는 싱크 공고 패킷에서 에이전트 노드의 위치 정보를 저장 공간에 저장하고 그리드 아이디 및 클러스터 멤버 수는 이웃 그리드 테이블(neighbor grid table)에 저장한다. 주변 클러스터 헤더는 싱크

공고 패킷에 자신의 그리드 아이디와 클러스터 멤버 노드의 수를 저장하고 다시 주변 클러스터 헤더에게 전송한다. 이때 이전에 자신이 받았던 싱크 공고 패킷과 동일하면 그리드 아이디와 클러스터 멤버 수만을 추출하여 이웃 그리드 테이블에 저장하고 다시 패킷을 플러딩하지 않는다. 이런 방식으로 모든 클러스터 헤더는 주변 그리드 아이디와 클러스터 멤버 노드의 수를 저장하며 이것을 이용하여 차후 라우팅 경로에 유용하게 사용된다.

### 3.3.2 데이터 공고(DATA Announcement)

이벤트를 감지한 소스 노드는 데이터 공고 패킷을 생성하고 지리적 회송을 통해 자신이 속해 있는 클러스터 헤더에게 전송한다. 클러스터 헤더는 동일한 이벤트에 의해 발생된 패킷들을 모아 병합한다. 또한 클러스터 헤더는 패킷을 저장하여 주변 그리드에서 오는 패킷을 비교하고 동일한 패킷들은 드랍(drop)시킨다.

데이터 공고 패킷에는 고유번호, 이벤트 발생 시간, 에이전트 노드의 위치 정보, 에이전트 노드가 포함된 그리드 아이디, 자신의 그리드 아이디가 기록된다. 소스 노드가 속한 클러스터 헤더는 기존에 저장되어 있는 에이전트 노드의 위치 정보를 통해 최적의 라우팅 지역을 설정한다. 최적의 라우팅 지역은 그림 6에서 보는 바와 같이 소스 노드가 포함된 그리드와 싱크 노드가 포함된 그리드를 대각선으로 연결하여 이루어진 사각형 지역이다.

에이전트 노드가 포함된 클러스터 헤더 방향으로

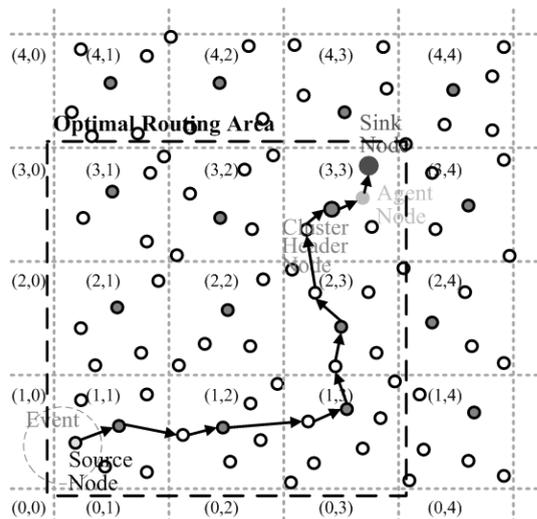


그림 6. 제한된 프로토콜의 데이터 공고

데이터 공고 패킷을 전송한다. 이때 라우팅 경로는 최적의 라우팅 지역에서 미리 저장된 클러스터 멤버 노드의 수가 가장 많은 그리드의 클러스터 헤더를 선택한다. 만약 클러스터 멤버 노드의 수가 동일한 경우 최단 거리에 위치한 클러스터 헤더에게 패킷을 전송한다. 데이터 공고 패킷을 전송받은 클러스터 헤더는 동일한 방법으로 상위 계층 통신을 수행하여 에이전트 노드까지 전송하고 에이전트 노드는 싱크 노드에게 전달한다.

3.3.3 데이터 요구(DATA Request)

싱크 노드는 그 데이터가 필요할 때 데이터 요구 패킷을 생성하고 에이전트 노드에게 전송한다. 에이전트 노드는 데이터 공고 패킷이 전송된 역방향으로 데이터 요구 패킷을 전송한다. 싱크 노드는 에이전트 노드의 배터리 양을 감지하여 일정한 에너지가 소모되면 클러스터 헤더가 재선출 되는 것처럼 새로운 에이전트 노드를 선택한다.

데이터 요구 패킷은 고유번호, 데이터 공고 패킷의 고유 번호, 에이전트 노드의 위치, 에이전트가 포함된 그리드 아이디, 자신의 그리드 아이디가 기록된다. 그림 7은 제안된 프로토콜의 데이터 요구

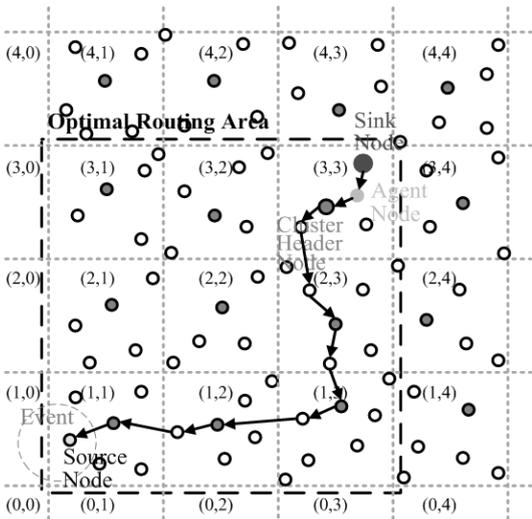


그림 7. 제안된 프로토콜의 데이터 요구

3.3.4 데이터 전송(DATA Forwarding)

데이터 요구 패킷을 수신한 소스 노드는 데이터 패킷을 생성하여 역방향의 라우팅 경로를 통해 싱

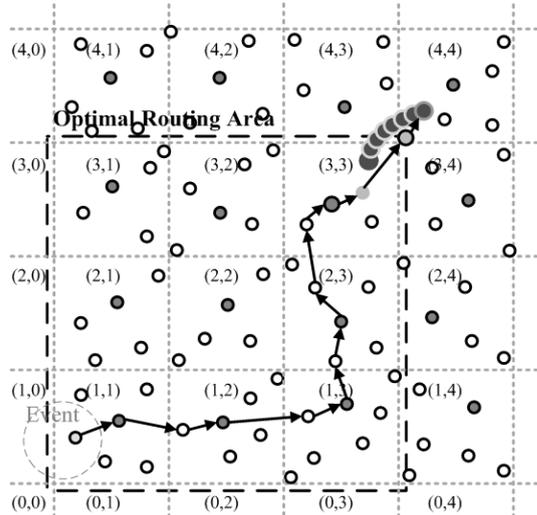


그림 8. 싱크 노드의 이동과 데이터 전송

크 노드에게 전송한다. 그러나 만약에 싱크 노드가 데이터 패킷이 전달받기 전에 이동할 경우 이동하는 싱크 노드는 일정한 주기에 따라 에이전트 노드에게 자신의 위치 정보를 전송한다. 그림 8에서 보는 바와 같이 싱크 노드가 에이전트 노드와 통신이 불가능한 거리로 벗어날 경우 싱크 노드는 새로운 에이전트 노드를 선정하고 기존의 에이전트 노드와 새로운 에이전트 노드가 서로 통신할 수 있도록 새로운 에이전트 노드에게 기존의 에이전트 노드의 위치 정보를 전송한다.

소스 노드에서 싱크 노드까지 데이터 전송에 참여한 모든 클러스터 헤더는 자신의 클러스터 멤버 노드의 수가 변화되었는지 파악하고 변화된 클러스터 헤더는 주변 클러스터 헤더에게 자신의 그리드 아이디와 변화된 클러스터 멤버 노드의 수를 전송한다. 주변 클러스터 헤더는 이웃 그리드 테이블을 갱신한다.

IV. 구현 및 성능 평가

4.1 실험환경

이 논문에서는 에너지 효율성과 데이터 성공률을 비교하기 위해서 기존 기법들과 제안 기법을 NS-2 (Network Simulator 2)로 구현한 에너지 모델(energy model)을 설계하여 평가하였다. 제안 기법과 기존 기법들은 이동 싱크 노드를 대상으로 작성되었으며 동일한 센서 필드와 센서 노드를 사용하였다. 표 1은 제안 기법을 실험하기 위한 PC 실험 환경을 보

표 1. PC 실험 환경

구 분	설 정
OS	ubuntu-9.04
CPU	AMD Dual Core Processor 3800 +2.01GHz
Memory	2GB RAM
Tool	NS-2

여준다.

본 실험의 센서 필드는 500m × 500m이고, 센서 필드에 전개된 센서 노드의 수는 500개이며 모든 노드는 센서 필드에 랜덤하게 분산시켰다. 그리드 크기는 50m × 50m으로 설정하였다. 실험에서 사용하는 에너지 파라미터들을 살펴보면, 센서 노드가 가지는 초기 에너지는 0.5kW이고, 전송에 소모되는 에너지는 0.66W이며 수신시에 소모되는 에너지는 0.395W이다. 센서 노드가 Idle 상태를 유지하게 되면 0.035W의 에너지를 소모한다. 본 실험에서는 MAC 계층으로 802.11을 사용하였다. 센서 필드에서 모든 이벤트 발생 위치는 랜덤으로 선택되었고, 기존 기법과 제안 기법에서 동일하게 적용된다. 그림 9는 센서 노드들의 분포를 보여준다. 그림 9는 센서 노드들의 분포를 보여준다.

#### 4.2 실험 결과 및 평가

본 실험은 두 기법의 성능을 비교 평가하기 위해서 4가지 측면에서 비교 평가하였다. 이 논문에서는 실험 결과를 통해서 기존 기법들보다 제안 기법의 타당성을 증명한다.

##### 4.2.1 소스 노드 수에 따른 전체 에너지 소비

본 실험에서는 소스 노드의 수를 증가시키면서

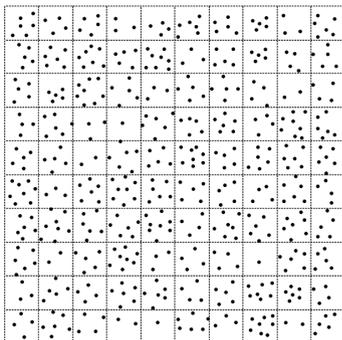


그림 9. 센서 필드에서 센서 노드들의 분포도

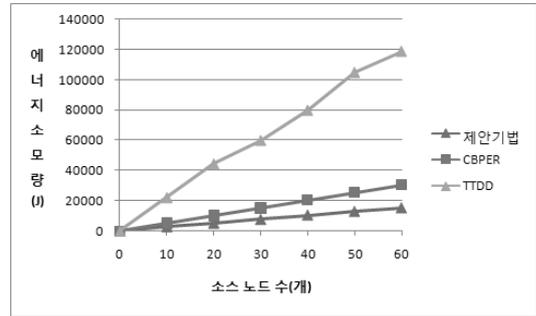
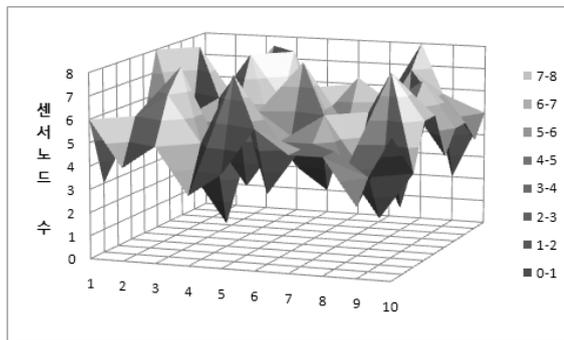


그림 10. 소스 노드 수에 따른 에너지 소모량

전체 에너지 소모량을 비교 분석하여 기존 기법들과 제안 기법의 성능을 평가하였다. 싱크 노드는 하나로 고정하고 소스 노드의 수를 증가시켰고, 싱크 노드는 5초의 pause 시간을 가지면서 10m/s로 이동하였다.

그림 10은 소스 노드의 수에 따른 전체 에너지 소비를 보여준다. 실험 결과는 제안 기법이 TTDD 기법과 CBPER 기법보다 에너지 소모가 적게 이루어지는 것을 보여준다. 이는 TTDD 기법이 매 이벤트마다 그리드를 생성하므로 제어패킷을 많이 사용하였고, CBPER 기법에서는 싱크 노드까지 데이터를 전달하기 위해 매번 소스 노드가 위치한 세로축의 모든 클러스터 헤더에게 데이터 공고 패킷을 전달하고 싱크 노드가 위치한 가로축의 모든 클러스터 헤더에게 데이터 요구 패킷을 전달해야 하므로 제안 기법보다 많은 패킷이 사용되었다. 제안 기법은 소스 노드가 위치한 그리드와 싱크 노드가 위치한 그리드의 대각선을 이은 사각형을 최적의 라우팅 지역으로 형성하여 데이터가 이루어지는 만큼 라우팅에 참여하는 클러스터 헤더만을 통해 최단 거리 라우팅이 수행되므로 기존 기법보다 패킷의 수가 적게 사용되어 에너지 효율이 향상되었다.



4.2.2 소스 노드 수에 따른 패킷 전송량

본 실험에서는 싱크 노드와 소스 노드의 수를 증가시키면서 패킷 전송량을 비교 분석하여 성능을 평가하였다. 하나의 싱크 노드와 다수의 싱크 노드에서 소스 노드의 수에 따른 패킷 전송량을 측정하였다.

그림 11에서 하나의 싱크 노드를 가지고 실험한 결과는 제안 기법이 TTDD기법과 CBPER기법보다 패킷 전송량이 가장 적었고, 그림 12에서 다수의 싱크 노드들을 사용하여 실험한 결과는 제안 기법이 그림 11보다 약 2배정도 패킷 전송량이 감소하였다는 것을 보여준다. 즉, 제안 기법이 이벤트에 의한 데이터 공고 패킷을 한번만 전송하기 때문에 하나의 싱크 노드를 사용하는 것보다 다수의 싱크 노드들을 사용하는데 적합하였다.

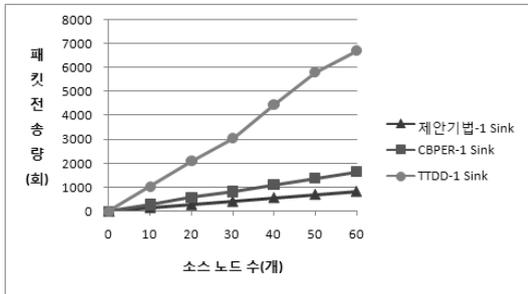


그림 11. 하나의 싱크 노드와 소스 노드에 따른 패킷 전송량

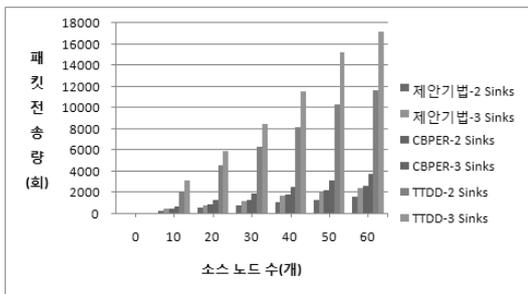


그림 12. 다수의 싱크 노드와 소스 노드에 따른 패킷 전송량

4.2.3 센서 필드 크기 변화에 따른 에너지 소비

본 실험에서는 센서 필드 크기를 변화시키면서 전체 에너지 소모량을 비교 분석하여 CBPER기법과 제안 기법의 성능을 평가하였다. 싱크 노드와 소스 노드를 하나로 고정하고 감지 대상 지역의 크기를 변화시켰다. 그림 13은 감지 대상 지역의 크기에 따른 전체 에너지 소비를 보여준다. 위 실험 결

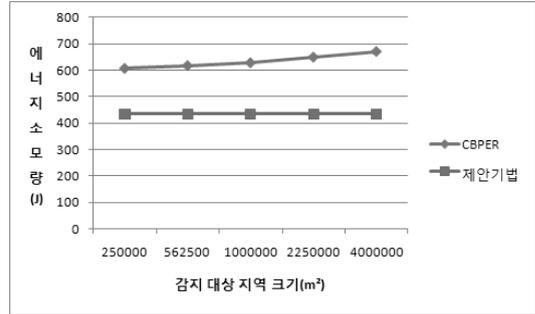


그림 13. 감지대상지역의 크기변화에 따른 에너지 소모

과로써, 제안 기법은 에너지 소모가 일정한 것에 비해 CBPER기법은 감지 대상 지역의 크기가 커질수록 에너지 소비가 늘어나는 것을 볼 수 있다.

요약하면, 제안 기법은 센서 필드의 크기가 변화하여도 라우팅 경로를 설정하는데 아무런 변화가 없지만, CBPER기법은 센서 필드의 크기가 커질수록 더 많은 에너지 소비가 이루어진다. 이는 센서 필드 크기가 커질수록 더 많은 그리드 생성과 클러스터링을 통한 클러스터 헤더가 증가하게 되고, 증가된 클러스터 헤더는 패킷 전달을 위해 라우팅 경로에 참여하기 때문에 에너지 소비가 늘어난다.

4.2.4 소스 노드에 따른 데이터 전송 성공률

실험에서는 소스 노드를 증가시키면서 소스 노드가 보낸 데이터가 싱크 노드까지 정확하게 전송되었는가를 확인하기 위해 데이터 전송 성공률을 비교 분석하여 기법들의 성능을 평가하였다. 데이터 전송 성공률 측정하기 위해서 다음과 같이 가정한다. 모든 데이터는 노드 간에 통신을 수행할 때 간섭과 혼잡에 의한 데이터 손실이 발생하지 않는다. (1)과 같이 데이터 전송 성공률은 전송 매체인 노드가 존재하지 않거나 전체 에너지를 통해 어떤 기능도 수행할 수 없는 상태에서 발생한다. 데이터 전송 성공률은 총 소스 노드가 보낸 데이터 수에서 총 싱크 노드가 받은 데이터 수를 나눈 값이다.

$$\text{데이터 전송 성공률} = \frac{\text{Total\_source' data}}{\text{Total\_sink' data}} \quad (1)$$

그림 14에서 보는 바와 같이 제안 기법이 TTDD기법과 CBPER기법보다 데이터 전송 성공률이 우수하다는 것을 보여준다. TTDD기법은 초기에 소스 노드와 싱크 노드 간 데이터 전송이 잘 이루어지다가 센서 노드의 에너지 소모가 많아 일정 시간이

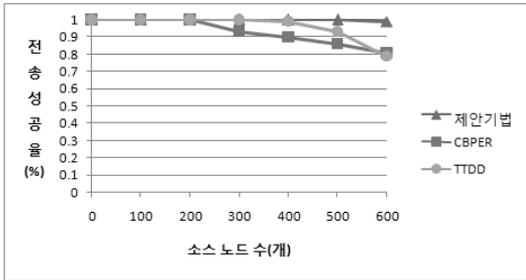


그림 14. 소스 노드 수에 따른 전송 성공률

지나가면 데이터 성공률이 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있으며, CBPER 기법은 보이드 그리드가 라우팅 경로안에 설정되었을 때 소스 노드에서 싱크 노드까지 데이터 패킷 전송이 이루어지지 않았다. 이에 비해 제안 기법은 보이드 그리드 발생을 줄였을 뿐 아니라 보이드 그리드와 무관하게 라우팅이 계속적으로 이루어졌다.

그림 15에서 보는 바와 같이 제안 기법의 그리드 내 초기 에너지 상태와 이벤트 발생 이후 그리드 내 소비된 에너지 상태를 보여준다. 센서 노드가 랜덤으로 센서 필드에 전개될 때 1개에서 최대 8개의 센서 노드가 포함된다는 가정하에 실험한 결과, 초기 그래프의 형태가 상하로 굴곡이 심했으나 시간

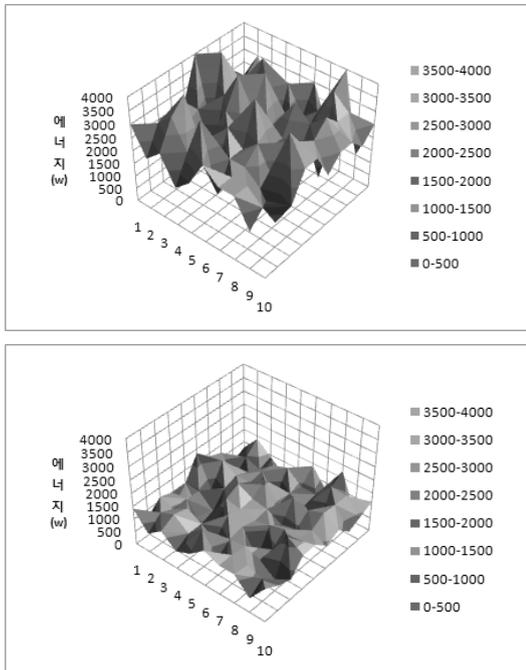


그림 15. 초기 에너지 상태와 소비된 이후 에너지 상태 비교

이 지날수록 고르게 분포됨을 알 수 있었다. 이는 전체 센서 노드의 균등한 에너지가 소비되도록 유도되었음을 보여주고, 그리드에 포함된 센서 노드의 수를 고려한 라우팅 기법으로 기존에 많은 연구들이 그리드에 동일한 수의 센서 노드가 뿌려진 상태를 가정한 것에 비해 현실성이 높일 수 있었다.

## V. 결론

무선 센서 네트워크는 다른 무선 네트워크에 비해 에너지 측면에서 많은 제약사항을 가지고 있으며, 이에 에너지를 소비를 줄여 무선 센서 네트워크의 수명을 연장하는 것이 가장 큰 관심사이다. 특히 최근 들어 유비쿼터스가 부각되고 있는 만큼 무선 센서 네트워크에 이동 싱크 노드를 적용한 프로토콜을 설계할 필요가 있다. 이 논문에서는 이동 싱크 노드를 적용할 뿐 아니라 보이드 그리드 발생시 데이터가 수집자에게 전송되지 못한다는 CBPER 기법의 단점을 해결하고 에너지 효율과 데이터 전달의 신뢰성을 높이고자 한다. 그리고 제안기법은 센서 노드가 랜덤으로 배치되는 것을 감안하여 좀 더 현실적인 무선 센서 네트워크 환경에 적합하도록 설계하였다.

이 논문에서 제안 기법이 TTDD 기법보다는 약 85%정도 패킷의 수를 줄였고, CBPER 기법보다 약 34%정도 패킷의 수를 줄여 에너지 소비가 감소되었다. 그리고 센서 필드의 크기가 증가할 때마다 CBPER 기법의 에너지 소모량도 증가하는 것에 비해 제안 기법은 영향을 받지 않았으며, 소스 노드가 전송한 데이터가 싱크 노드까지 무사히 도착하는가에 대한 데이터 전송 성공률이 CBPER 기법보다 향상되었다.

향후 연구 과제로서는 이 연구에서 최적의 라우팅 지역을 설정하여 최단거리를 통해 센서 노드의 에너지를 감소시켰지만, 최적 라우팅 지역이 다른 지역보다 센서 노드의 에너지가 현저히 감소된 상태에서 라우팅이 될 경우 데이터 전송에 어려움이 존재한다. 이를 해결할 수 있는 최적의 라우팅 알고리즘에 대한 향후 연구가 요구된다.

## 참고 문헌

[1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communi-

cations Magazine, Vol.40, No.8, pp.102-114, 2002.

[2] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor networks: A Survey," IEEE Communications, Vol.11, No.6, pp.6-28, 2004.

[3] 황미영, 김병기 "이동싱크에 대한 선택 기반 라우팅 기법", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집 제33권 제2호, pp.360-365, 2006.

[4] F. Ordonez and B. Krishnamachari, "Optimal Information Extraction in Energy-Limited Wireless Sensor Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.22, No.6, pp.1121-1129, 2004.

[5] H. Lu, Y. Chang, H. Hu Jiann-Liang Chen, "Power-efficient scheduling method in sensor networks," 2004 IEEE International Conference on, Vol.5, pp.4705-4710, 2004.

[6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion : A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," MOBICOM pp.56-67, 2002.

[7] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasn, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proc. HICSS'00, Vol.2, pp.3005-3014, 2000.

[8] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, Songwu Lu, and Lixia Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," MOBICOM'02 pp.148-159, 2002.

[9] 권기석, 이승학, 윤현수, "센서 네트워크를 위한 클러스터 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜", 정보과학회논문지 정보통신 제33권 제1호, pp.76-90, 2006.

[10] 정성영, 이동욱, 김재훈, "센서 네트워크를 위한 그리드 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜", 정보과학회논문지, 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제2호, pp.216-220, 2008.

[11] 조지은, 최종원, "센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜", 정보과학회논문지, 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제5호, pp.482-486. 2008.

**최 재 민 (Jae-Min Choi)**

준회원



2004년 2월 청주대학교 이학사  
2010년 2월 충북대학교 전자계산학과 공학석사  
2010년 6월~현재 한국과학기술정보연구원  
<관심분야> 무선 센서 네트워크, 네트워크 보안, SSL, SSD, 슈퍼컴퓨터, NMS(Network Management System)

**문 형 진 (Hyung-Jin Mun)**

정회원



2002년 2월 충남대학교 수학과 이학석사  
2008년 2월 충북대학교 전자계산학과 이학박사  
2009년~현재 중국 연변과학기술대학교 컴퓨터전자통신공학부 조교수

<관심분야> Network Security, Privacy, Sensor Network

**정 윤 수 (Yoon-Su Jeong)**

정회원



1998년 2월 청주대학교 이학사  
2000년 2월 충북대학교 전자계산학과 이학석사  
2008년 2월 충북대학교 전자계산학과 이학박사  
<관심분야> 무선 센서 네트워크 보안, 암호이론, 정보보호,

Network Security, 이동통신 보안

**이 상 호 (Sang-Ho Lee)**

종신회원



1981년 2월 숭실대학교 전자계산학과 공학석사  
1989년 2월 숭실대학교 전자계산학과 공학박사  
1981년~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

<관심분야> Protocol Engineering, Network Security, Network Management and Architecture