

# 무선 센서 네트워크에서의 싱크 노드에 의한 에너지 효율적인 목적지-순서적 라우팅 알고리즘

정상준<sup>†</sup>, 정연기<sup>\*\*</sup>

## 요 약

센서 네트워크는 관심 지역을 감지하도록, 작은 센서를 배치하여 센서가 감지한 작업을 수집하여 사용자에게 제공하는 기능을 가진다. 감지 작업을 보고할 때 노드 간의 라우팅 경로는, 베이스 스테이션의 요청이 있는 경우 경로 설정이 이루어지는데, 이 때 경로는 노드의 한정된 에너지를 고려하여 에너지 소모를 최소화하는 형태로 이루어진다. 또한 노드가 가지는 낮은 용량, 한정된 자원, 이동성 등의 이유로, 감지 작업을 보고할 경우 베이스 스테이션의 요청에 따라 라우팅 경로를 재설정하게 된다. 본 논문에서는 싱크(Sink) 노드가 감지작업을 요청할 경우, 각 노드는 자신의 링크 정보를 보고하게 되고, 싱크 노드는 전체 토폴로지 정보를 수집하고 관리하여 각 노드와의 협상 없이 라우팅 경로를 설정한다. 그러면 설정된 경로의 손실이 발생하는 경우와 지속적인 감시 작업 등의 상황에서 노드간의 협상을 통한 라우팅 경로 설정 과정을 거치지 않고 자신의 라우팅 경로 정보를 이용하여 주경로 및 대체 경로를 쉽게 찾을 수 있게 된다. 싱크 노드에 보고하는 노드의 연결 정보는 각 노드가 주기적으로 신호를 주고받아 보관하므로 경로 정보를 수집하는데 소요되는 부하를 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘은, 경로 설정에 필요한 라우팅 메시지를 초기에 주고받아 경로를 설정함으로써 설정된 경로가 실패되더라도 노드가 가지는 토폴로지 정보를 이용하여 대체 경로를 설정함으로써, 경로 설정에 필요한 라우팅 메시지를 줄이게 되고 재경로 탐색이 쉽게 이루어지게 된다. 이는 노드의 소실이 많은 지역이나 모니터링 환경에 적합하다.

## An Energy-Efficient and Destination-Sequenced Routing Algorithm by a Sink Node in Wireless Sensor Networks

Sangjoon Jung<sup>†</sup>, Younky Chung<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

A sensor network is composed of a large number of tiny devices, scattered and deployed in a specified regions. Each sensing device has processing and wireless communication capabilities, which enable it to gather information from the sensing area and to transfer report messages to a base station. The energy-efficient routing paths are established when the base station requests a query, since each node has several characteristics such as low-power, constrained energy, and limited capacity. The established paths are recovered while minimizing the total transmit energy and maximizing the network lifetime when the paths are broken. In this paper, we propose a routing algorithm that each sensor node reports its adjacent link information to the sink node when a sink node broadcasts a query. The sink node manages the total topology and establishes routing paths. This algorithm has a benefit to find an alternative path by reducing the negotiating messages for establishing paths when the established paths are broken. To reduce the overhead of collection information, each node has a link information before reporting to the sink. Because the node recognizes which nodes are adjacent. The proposed algorithm reduces the number of required messages, because sensor nodes receive and report routing messages for establishment at the beginning of configuring routing paths, since each node keeps topology information to establish a routing path, which is useful to report sensing tasks in monitoring environments.

**Key words:** Wireless Sensor Network(무선 센서 네트워크), Routing Algorithm(라우팅 알고리즘), On-demand(요구 기반)

## 1. 서 론

센서 네트워크는 제한된 컴퓨팅과 통신 기능을 가지고 주변지역을 감시하기 위해 사용하는 작은 센서로 구성된다. 이 네트워크를 구성하는 센서는 특정 지역에 배치되어 동물이나 환경을 감시하거나 추적하여 베이스 스테이션에 보고하는 기능을 가진다 [1-4]. 통신 인프라가 구축되어 있지 않은 상태에서 노드들끼리 라우팅 경로를 찾아 베이스 스테이션에 보고하기 위해서는 에너지 효율성을 고려해야 한다. 센서 노드가 가지는 한정된 자원과 제한된 전원 때문에 에너지를 최소로 하는 라우팅 경로를 확보하는 것은 센서 네트워크를 위한 라우팅 알고리즘을 설계하는데 있어서 중요한 요소 중의 하나이다.

센서 네트워크를 구성하는 노드의 특징에 따라 다양한 응용을 목표로 설계되고 있어 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜의 설계 또한 다양하다. 현재까지 소개되고 있는 라우팅 프로토콜은 센서 노드의 특성을 반영하여 설계되고 있으며, 대표적인 데이터 중심적 프로토콜은 노드의 전역 주소인 IP 주소에 기반하지 않고 데이터 중심적인 형태로 설계되고 있다 [5-7].

센서 네트워크 라우팅 프로토콜은 크게 데이터-중심적 프로토콜(Data-centric protocol), 계층적 프로토콜(Hierarchical protocol), 지역 기반 프로토콜(Location based protocol) 등으로 분류된다 [8-16].

데이터-중심적 프로토콜의 일종인 Directed diffusion [11,12]은 베이스 스테이션인 싱크 노드에서 센싱 작업 쿼리를 개별 센서 노드에게 발송함으로써 라우팅 경로를 설정한다. 계층적 프로토콜인 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) [13]은 클러스터 헤더를 임의적으로 선출한 후 개별 노드를 클러스터로 묶어 클러스터별로 쿼리를 발송한다. 지역 기반 프로토콜인 GEAR(Geographic and Energy Aware Routing) [15]은 싱크 노드가 자신의 위치를 파악하는 장치를 가지는 개별 센서 노드에게 위치별로 쿼리를 발송하여 센싱 작업을 요청하게 된다.

지금까지 소개된 라우팅 프로토콜은 제한된 에너지를 가지는 센서 노드에서 에너지 소비를 네트워크 전체로 분산시켜 전체적 네트워크의 수명을 증가시키는 방향으로 설계되며, 통신 인프라가 없는 네트워크에서 노드 배치를 고려하여 라우팅 경로를 유지하기 위해 부하를 줄이는 방향으로 제시되고 있다. 센서 네트워크를 구성할 때, 센서 노드를 임의적으로 배치하여 라우팅 경로의 설정은 베이스 스테이션의 요구가 있을 때마다 이루어진다. 일반적으로 센서 네트워크에서 센서 노드의 배치가 완료될 경우, 이 노드들은 비이동성의 특성을 갖는다. 반면, 베이스 스테이션인 싱크 노드는 이동성을 필요로 하는 경우가 많다 [5-7]. 노드의 비이동성을 가정할 경우, 라우팅 테이블을 이용하여 라우팅 경로를 확보할 수 있는 방법을 제안한다. 하지만 센서 노드의 연산 능력과 제한된 에너지를 고려할 때 라우팅 테이블을 연산하고, 갱신하는 절차 때문에 에너지 효율성은 보장될 수 없다. 반면 싱크 노드가 요구할 때 필요한 라우팅 경로를 확보하는 방법은 노드가 이동되더라도 라우팅 경로의 확보가 용이하고, 한 노드가 네트워크에서 빠지더라도 새로운 라우팅 경로를 요구하여 감지작업을 전송하는 방법을 제안한다. 이 경우 싱크 노드는 새로운 라우팅 경로 확보를 위해 라우팅 메시지를 발송해야 하고, 각 노드는 경로 확보에 대한 응답 메시지를 발송하게 되는데, 감지작업을 보고하는 소스 노드는 일정 시간의 지연을 갖게 되는 단점을 가진다.

본 논문에서는 감지작업 보고를 위한 라우팅 경로를 확보함에 있어서, 싱크 노드의 요청이 있을 때 라우팅 경로를 확보하기 위해, 각 노드가 응답 메시지에 자신의 이웃 노드에 대한 정보를 포함하여 보고하는 알고리즘을 제안한다. 라우팅 경로를 확보할 때 이웃 노드에 대한 정보 수집은 각 노드들이 주고받는 신호에 의해 확보되어 싱크 노드가 요구하면 즉시 보고하도록 한다. 이 정보를 수집한 싱크 노드는 전체 토폴로지 정보를 비트맵 형태로 링크 정보를 표현하고, 비트맵 테이블 연산을 이용하여 최적의 라우팅 경로를 설정한다. 설정된 라우팅 경로를 포함하여 이

※ 교신저자(Corresponding Author): 정연기, 주소: 경북 경산시 하양읍 부호리 경일대학교(712-701), 전화: 053) 850-7286, FAX: 053)850-7280, E-mail: ykchung@kju.ac.kr

접수일: 2007년 4월 13일, 완료일: 2007년 9월 18일

\* 중신회원, 경일대학교 컴퓨터공학부

(E-mail: sjjung@kju.ac.kr)

\*\* 중신회원, 경일대학교 컴퓨터공학부

를 대상 노드에게 발송함으로써 라우팅 경로가 만들어지도록 한다. 이 경우 라우팅 경로에 참가하는 한 노드가 에너지 고갈로 인해 탈락되더라도 라우팅 경로를 재요청하지 않고 비트맵 테이블을 이용한 대체 경로의 확보가 가능해져 라우팅 경로 재요청과 응답에 걸리는 시간을 절약한다. 센서 노드는 한정된 에너지를 가지고 있으므로, 에너지 소모를 줄이는 방향으로 라우팅 경로를 설정해야 한다. 센서 네트워크에서 센서는 메시지를 발송할 때 가장 많은 에너지를 필요로 하고, 프로세싱에 필요한 에너지는 메시지를 수신할 때보다 적은 양의 에너지를 필요로 한다. 따라서 메시지의 수를 줄이는 것이 전체 에너지 소모를 줄이는데 가장 유효한 방법이다.

본 논문에서 제안하는 라우팅 방법은 싱크 노드의 라우팅 경로 요청이 빈번하게 발생하는 응용에 좋은 성능 향상을 기대할 수 있으며, 각 노드의 배터리가 차이 날 때, 즉 설정된 라우팅 경로가 자주 끊어질 경우에도 우수한 성능을 보인다.

2장에서는 기존의 센서 네트워크를 위한 라우팅 알고리즘에 대해 알아보고, 3장에서는 본 논문에서 제안한, 노드가 주고받는 메시지를 이용하여 비트맵을 형성하는 과정을 소개한다. 4장에서는 본 논문의 성능을 기존의 라우팅 알고리즘과 비교 평가하며, 5장에서는 제안한 라우팅 알고리즘의 시뮬레이션 결과와 향후 연구 과제를 제시한다.

## 2. 센서 네트워크를 위한 라우팅 알고리즘

센서 네트워크를 구성하고, 각 노드에서 수집되는 정보가 싱크 노드로 전달되도록 라우팅 경로를 설정하는 방법에 관하여 많은 연구가 진행되고 있다. 센서 네트워크를 위한 라우팅 알고리즘은 데이터 중심적 프로토콜, 계층적 프로토콜, 지역 기반 프로토콜 등으로 분류될 수 있다[8-16]. 각 프로토콜의 특징과 라우팅 경로 설정 방법을 살펴보면 다음과 같다.

데이터 중심적 프로토콜은 노드의 배치가 완료된 후 라우팅 경로를 확보할 때, 노드 자체의 전역 주소인 IP 주소가 아니라 센서 노드 또는 싱크 노드가 발송하는 쿼리에 의해 대상 노드가 정하는 데이터에 따라 경로를 확보하는 방법이다. 따라서 일반적인 네트워크에서와 같이 전역 주소의 할당이 필요하지 않으므로 기존의 라우팅 설정 방법으로 라우팅을 수행

하는 것이 힘들고, 더욱이 센서 노드의 임의적인 배치로 말미암아 새로운 라우팅 알고리즘이 필요하게 되었다. 라우팅 경로를 확보할 때 라우팅 경로의 확보 주체가 노드 자체의 전역 주소가 아니라 싱크 노드가 발송하는 데이터에 의해 경로가 확보되는 데이터 중심적 라우팅 프로토콜에서 싱크 노드는 특정 위치의 노드에게 데이터를 수집하도록 질의를 발송하는데, 데이터에 특정 위치 또는 특정 속성을 포함하여 대상 노드에게 발송한다. 그 결과 특정 지역에 위치한 노드가 자신이 수행해야 할 속성이 포함되었는지를 확인한 후 보고하게 되어 라우팅 경로가 확보된다. SPIN[8]은 중복된 데이터의 발송을 억제하여 노드의 에너지 소모를 줄이는 최초의 데이터 중심적 라우팅 프로토콜이다.

Directed Diffusion[11,12]은 데이터에 질의를 명명하는 방법을 사용하는 대표적인 라우팅 프로토콜이다. 싱크 노드는 특정 속성을 Interest라고 정의된 데이터로 명명하여 각 노드에게 발송하고, Interest에 응답하는 경로가 라우팅 경로로 유지되어 데이터의 전달이 이루어진다[5,10]. 네트워크 상에 배치된 각 노드는 명명된 속성이 자신이 처리할 수 있는가를 살펴본 후 해당 속성이 자신의 영역에 존재하지 않을 경우 이웃 노드에게 재발송하는 과정을 가진다. 이때 만들어진 경로는 경사(gradient)로 캐쉬에 저장되고, Interest의 속성이 일치하는 노드는 저장된 경사 경로에 의해 싱크 노드에게 보고된다. 동일한 Interest가 여러 개의 노드로부터 얻어질 경우에는 중복 경로를 가지게 되어 중복된 이벤트를 전달하게 된다. 중복된 이벤트를 줄이기 위해 초기 Interest는 전달 간격을 크게 하여 노드에게 전달되고, 싱크 노드가 이벤트를 받게 되면 전달 간격을 좁혀 데이터를 수신하게 되므로 단일 경로를 설정하여 중복된 이벤트를 줄일 수 있다[11,12]. 라우팅 경로 설정 과정에서 라우팅 경로를 위한 정보 요청과 이에 대한 응답, 전달받은 라우팅 정보를 바탕으로 라우팅 경로 설정 과정과 같은 단계로 라우팅 경로 설정이 이루어지게 된다. 이는 요구 기반 방식의 라우팅 알고리즘으로 라우팅 경로가 실패할 경우 부가적인 오버헤드를 가지는 전형적인 라우팅 알고리즘이다. Directed Diffusion 프로토콜은 전역 주소를 가지지 않는 대표적인 라우팅 알고리즘이며, 이 알고리즘을 이용하는

각 노드는 데이터의 확산, 수집, 감지 등을 수행한다. 그러나 이 프로토콜은 질의에 의한 응답을 필요로 하는 네트워크에서는 적절하지만, 노드의 수명이 일치하지 않는 네트워크 상에서 라우팅 경로의 변화가 심한 경우, 또는 주기적인 보고, 감시 등을 수행하도록 싱크 노드의 질의가 빈번한 경우 등과 같은 응용에서는 적절하지 않다는 단점을 가진다.

계층적 프로토콜은 센서 노드의 역할을 데이터 수집 기능과 라우팅 기능으로 분류하여 라우팅 기능을 수행하는 노드로 하여금 주변 노드의 정보를 전달받아 싱크 노드로 전달하도록 설계하고 있다. 따라서 이 프로토콜은 중복된 경로의 설정을 회피하고 특정 노드의 과부하를 극복한다[5,12,13]. 요구 기반 라우팅 프로토콜에서 특정 응용에 대한 쿼리에 각 센서 노드가 보고를 수행할 경우 인접한 노드는 유사한 정보를 중복으로 전달한다. 이러한 경우 불필요한 에너지 소모와 더불어 데이터 중복성으로 인해 수집된 데이터의 신뢰성에 영향을 미치게 되는데, 게이트웨이 역할을 수행하는 노드에게 특히 과부하가 집중된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 센서 영역에서 클러스터를 구성하여 클러스터 헤더에게 클러스터 노드들을 관리하도록 하여 동일한 클러스터 내의 메시지 중복과 라우팅 경로의 이중성 등을 회피할 수 있도록 하고 있다. 대표적인 클러스터링 프로토콜인 LEACH[13]는 지역적인 클러스터를 형성하기 위해 클러스터 헤더를 임의적으로 선출하고, 클러스터 헤더가 인접한 지역에서 발생한 유사한 정보를 수집하여 싱크노드에게 보고하도록 설계되었다. 요청된 질의를 클러스터 헤더가 처리하고, 수집된 데이터 또한 클러스터 헤더가 싱크 노드에게 직접 보고하여 에너지 효율적인 라우팅을 가능하게 한다. 부하가 과중되는 클러스터 헤더를 임의적으로 변경하도록 설계하여 동적인 클러스터 형성이 가능하여 센서 영역 내의 노드 수명을 연장한다[13]. 하지만 동적인 클러스터를 구성할 때 필요한 클러스터 헤더 변경과 헤더 선출 후의 각 노드에 대한 광고로 인해 불필요하게 에너지를 소비하는 단점을 가진다. Subrammanian과 Katz[14]는 계층적 프로토콜로 분류할 수 있는 자-조직(Self-Organizing) 프로토콜을 설계하였는데, 이 프로토콜은 클러스터 내에서 각 노드가 라우팅 테이블을 가지도록 하여 클러스터 헤더의 변경에 따르는 헤더 광고 등의 불필요한 메시지를 줄이고자

하였다. 동일한 감지작업에 대한 라우팅 경로의 유지가 지속될 경우 클러스터 헤더의 부하가 과중되고 클러스터 헤더의 탈락은 라우팅에 심각한 지장을 초래하게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 여러 가지 방법의 클러스터링 방법을 제안하고 있다[2,8,12].

기존의 센서 네트워크는 전역 주소와 각 지역에 대한 정보를 가지지 않는 라우팅 프로토콜인데 반해, 지역 기반 프로토콜은 자신의 위치 정보를 가진다. 이 프로토콜은 라우팅 경로 설정과 감지된 데이터를 보고하기 위해 이웃 노드와의 거리를 계산한다. 감지될 지역 정보를 알게 되면 센서 노드의 위치를 파악하여 특정 지역에만 질의를 발송함으로써 불필요한 라우팅 설정 메시지 전송을 최소화한다. GEAR 프로토콜은 지역 정보를 사용하여 라우팅 경로를 설정하는 대표적인 지역 기반 프로토콜이다[15]. 센서 노드들이 배치된 영역을 지역적으로 구분하고, 필요로 하는 영역 내의 노드에게 데이터를 수집하도록 질의를 발송하는 개념이다[15]. 각 노드는 이웃 노드와의 거리를 계산하여 추정 비용을 저장하고 질의에 의한 응답을 수행한다. 지역에 기반한 이 라우팅 프로토콜은 데이터 플러딩에 비해서 대단히 효과적이지만, 노드의 이동성을 가지는 네트워크에서는 적절하지 못하다는 단점을 가진다. 또한 지역 위치를 인식하는 장치가 추가되어 노드의 부가적인 에너지를 소비한다.

### 3. 싱크 노드에 의한 목적지-순서적 라우팅 알고리즘

라우팅 경로를 설정하기 위한 방법은 싱크 노드의 Interest 전달로 이루어진다. Interest 내의 감지 작업 유무를 파악하는 것은 새로운 오버헤드를 야기하기 때문에 본 논문에서는 라우팅 경로 설정을 위하여 광고 메시지와 이에 대한 응답 메시지로 구분하여 이루어지도록 한다. 또한 정보 수집이 이루어진 후 목적지-순서적 경로 전달 데이터를 확보하여 해당 소스 노드에게 전달되도록 한다.

#### 3.1 라우팅 정보 수집 과정 및 메시지 형식

라우팅 경로를 설정하기 위해 싱크 노드는 각 노드에게 라우팅 정보를 수집하도록 광고(ADV) 메시지를 발송지에 전송하여 요청한다. 각 노드는 주기적

으로 이웃 노드와 주고받는 헬로(Hello) 메시지를 통해 주변 노드에 대한 정보를 유지하고 있다가, 이 메시지를 수신한 이후 응답(ACK) 메시지를 전달하게 된다. 싱크 노드는 전 영역에 걸쳐 응답 메시지를 수신하게 되는데, 수신된 정보를 바탕으로 전체 토폴로지를 구성하게 된다. 노드가 주고받는 메시지 형식은 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는 바와 같이 광고(ADV) 메시지는 광고 메시지를 지시하는 형식(Type)과 베이스 스테이션의 노드 식별자(Sink node ID)와 메시지를 전송해 준 노드를 가리키는 다음 노드(Next node)로 구성된다. 다음 노드가 필요한 이유는 응답 메시지를 발송할 때 여러 노드에게 브로드캐스트하지 않고, 다음 노드에게만 유니캐스트 형태로 발송하여 메시지의 중복 전달을 방지하기 위함이다.

그림 2는 광고 메시지를 수신한 노드가 싱크 노드에게 보고하기 위해 만드는 응답 메시지이다. 응답 메시지임을 나타내는 형식, 응답메시지를 발송하는 노드의 식별자 정보를 지시하는 노드 식별자(Node ID), 노드가 가지고 있는 이웃 노드의 식별자의 개수를 지정하는 길이(Length), 그리고 그 개수에 따라 이웃 노드 식별자 정보가 포함된다. 각 노드가 가지고 있는 이웃 노드의 개수는 모두 다르기 때문에 자신이 수집한 이웃 노드의 개수에 따라 길이가 정해지며, 정해진 길이에 맞게 이웃 노드의 식별자 정보가 포함된다.

이 정보를 수신한 싱크 노드는 각 노드가 가지고 있는 이웃 노드 정보를 기초로 하여 전체 토폴로지의 연결 정보를 저장하게 된다. 전체 토폴로지 정보에 따라 가장 최단 거리의 경로를 결정할 수 있으며, 경로 설정 과정은 3.2절에서 보인다. 경로 설정 과정에 따라 경로가 만들어지면, 싱크 노드는 이 경로로 라우팅

형 식	싱크노드 식별자	다음 노드
ADV		

그림 1. 광고 메시지

형 식	노드 식별자	길 이
ACK		
	첫 번째 이웃노드 식별자	
	:	
	마지막 이웃노드 식별자	

그림 2. 응답 메시지

경로 설정 메시지를 발송하게 되는데 메시지 형식은 그림 3과 같다.

경로 설정 메시지는 응답 메시지와 유사한 형태로, 이 메시지가 경로설정 메시지임을 나타내는 형식, 각 노드가 보고해야 할 대상 노드인 싱크 노드 식별자, 라우터 역할을 수행하는 노드의 개수를 지정하는 길이, 경로 상에 존재하여 라우터 역할을 수행하는 노드 식별자(Router node ID)로 구성된다. 이 메시지를 수신한 라우터 역할을 수행하는 노드는 각 노드 식별자 순서에 따라 자신이 보고해야 할 선행 노드 정보를 가지게 되고 감지 작업을 포함하는 데이터를 수신할 경우, 선행 노드에게 보고하게 된다.

### 3.2 라우팅 경로 설정 과정

싱크 노드가 센서 필드에 산재해 있는 각 노드에게 광고 메시지를 발송하면, 각 노드는 자신의 이웃 노드 정보를 가지고 있다가 이에 응답하게 된다. 각 노드가 가지는 이웃 노드 정보는 다양하므로 메시지의 크기는 가변적이다. 이 보고를 수신한 싱크 노드는 각 노드의 이웃 정보를 기초로  $N \times N$  크기의 비트맵 형식으로 가지게 된다. 그림 4는 메시지 전송 과정과 비트맵 형성 과정을 보인다.

그림 4에서 보는 바와 같이 싱크 노드가 수신한 정보를 이용하여 비트맵 형식으로 표시한다. 비트맵으로 표시하는 이유는 비트 연산을 이용하여 쉽게 목적지를 결정하고, 목적지로 향하는 경로 상의 노드를 찾기 용이하도록 하기 위함이다.

형 식	노드 식별자	길 이
DTA		
	첫 번째 라우터노드 식별자	
	:	
	마지막 라우터노드 식별자	

그림 3. 경로 설정 메시지

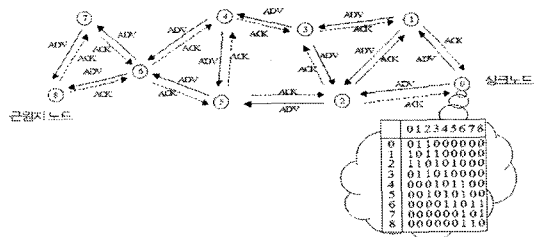


그림 4. 메시지 송수신과 비트맵 형성 과정 예

### 3.3 라우팅 알고리즘

싱크 노드 내에서 경로를 설정하기 위해 비트맵을 이용한 라우팅 경로 확보는 비트맵 연산을 통해 이루어진다. N×N 형태인 비트맵에서 너비 우선 탐색(BFS, Breath First Search) 알고리즘을 이용할 경우 쉽게 최단 경로를 확보한다. 그림 5는 너비 우선 탐색 알고리즘을 이용하여 그림 4에 나타난 비트맵을 기초로 하여 최단 경로를 찾는 과정의 예를 보인 것이다.

싱크 노드인 0번 노드에서 목적지 노드 8번 노드로 가기 위한 노드는 1번과 2번 노드가 존재한다. 여기서 너비 우선 탐색 방법을 적용한다. 즉 한 노드가 있으면 그 노드에서 갈 수 있는 모든 노드를 하나씩 선택해서 탐색해 가는 방법을 따른 것이다. 이중에 1번 노드에 해당하는 비트 연산도 존재하지만, 2번 노드에서 갈 수 있는 5번 노드와 6번 노드가 8번 노드와 연결되므로 그림 5와 같은 비트 연산을 수행한다. 싱크 노드에서 1번 노드를 경유하는 경우는 2번 노드를 경유하는 것보다 비용이 많이 발생하므로 위의 그림에서는 2번 노드를 경유하는 경로를 탐색하게 된다.

각 경유 노드의 정보는 그림 3의 메시지에 라우터 노드 식별자로 포함되어 목적지 노드에게 전달된다. 이 경로가 노드의 에너지 고갈로 인해 소실되더라도 쉽게 대체 경로를 연산한다. 2번 노드가 소실될 경우에는 1번 노드를 선택하고, 1번 노드를 경유하여 3번, 4번, 6번, 8번에 이르는 노드가 선택된다. 이 경로는 2번 노드를 이용한 최단 경로가 아니지만 대체 경로로 확보될 수 있는 경로이다. 이와 같이 라우팅 경로 설정 메시지를 주고받지 않고도 쉽게 대체 경로를 찾을 수 있다.

노드가 주고받는 연결 정보를 비트맵으로 표현하

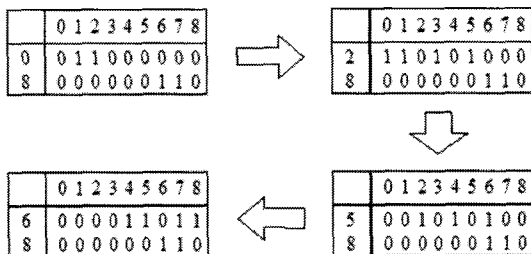


그림 5. BFS 알고리즘을 이용한 경로 설정 과정의 예

여 싱크 노드가 관리함으로써 싱크 노드에 의해 라우팅 경로를 설정할 수 있으며, 노드가 소실되는 경우에 쉽게 대체 경로를 찾을 수 있게 된다. 한정된 에너지를 가지는 노드에서는 메시지를 주고받을 때 에너지를 가장 많이 소모한다. 기존의 라우팅 알고리즘에서는, 경로 설정에 필요한 메시지 교환이 경로 설정 단계에서 경로 요청, 경로 검색, 경로 설정의 3단계로 이루어지고, 경로 손실의 경우에도 이 과정이 다시 수행되므로 메시지 교환으로 인한 에너지 소모가 많아지게 된다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 방법에서는 노드가 라우팅 정보를 주고받는 라우팅 정보 요청, 경로 검색의 2단계로 이루어져 라우팅 정보 요청과 응답에서 발생하는 에너지 소모를 줄임으로써 노드에서의 전체 에너지 소모를 줄일 수 있게 되고, 노드의 생존 시간을 늘려 네트워크의 수명을 연장한다.

### 4. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 알고리즘과 기존의 Directed diffusion 알고리즘을 비교 분석한다. 평가 기준은 센서 네트워크를 구성하는 노드의 한정된 에너지를 효율적으로 사용했는지 여부를 나타낼 수 있는 각 노드의 잔존 에너지양으로 설정한다.

#### 4.1 시뮬레이션 환경

기존의 알고리즘과의 성능 평가를 위해 NS(Network simulator)-2를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 노드의 수는 25개부터 25개씩 증가시켜 300개까지이며, 각 노드별로 10회씩 400초 동안 수행하였다. 각 노드는 랜덤 분포로 1000m×1000m 내에 위치하도록 하였다. 잔존 에너지량을 측정하기 위해 표 1과 같이 node-config를 설정하였다.

표 1. node-config에 설정되는 파라미터

```

-energyModel EnergyModel
-rxPower 0.175
-txPower 0.175
-sensePower 0.00000175
-idelPower 0.0
-initialEnergy 5
    
```

여기에서

- rxPower 0.175는 노드가 패킷을 수신할 때 175mW를 소모함을 나타낸다.
- txPower 0.175는 노드가 패킷을 전송할 때 175mW를 소모함을 나타낸다.
- sensePower 0.00000175는 노드가 센싱 작업을 Attribute와 매칭할 때 1.75μW를 소모함을 나타낸다.
- initialEnergy 5는 초기 노드의 에너지가 5J임을 나타낸다.

각 노드의 에너지 값과 라우팅 메시지 수를 변수로 하여 시뮬레이션을 진행한 이후, Trace 파일을 분석하여 그 결과를 얻는다.

#### 4.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘을 기존의 Directed diffusion 알고리즘과 비교 분석하였다. 먼저 시뮬레이션 시간 동안 전체 노드들의 평균 에너지 양을 비교하였다. 센서 노드가 에너지 소모를 가장 많이 필요로 하는 경우는 메시지를 송신 및 수신할 때이다. 경로 설정을 위한 라우팅 메시지 또한 에너지 소모를 필요로 하게 되는데, 라우팅 경로 설정에 드는 에너지를 최소화하게 되면 네트워크의 수명을 연장할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘은 라우팅 설정에 필요한 에너지 소모를 최소화하도록 경로 설정 방법이며, 이를 증명하기 위해 잔존 에너지양을 측정하여 다음 그림 6과 7에서 보이고 있다. 그림 6은 시간대별 전체 노드의 잔존 에너지양을 보이고 있다. 각 노드별로 10회의 시뮬레이션을 수행하여 평균값을 계산하였다.

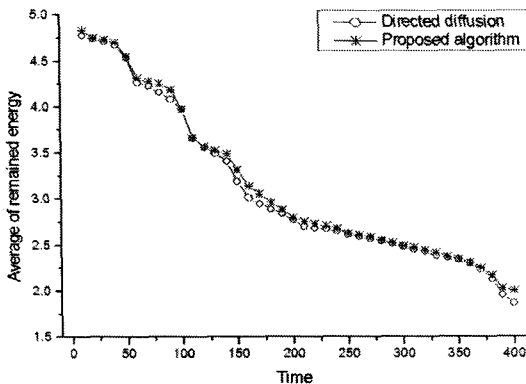


그림 6. 시간대별 전체 노드들의 평균 잔존 에너지 양

시뮬레이션 시간동안 전체 노드의 에너지는 감소하는 경향을 보이며, 제안하는 라우팅 알고리즘이 기존의 Directed diffusion 알고리즘에 비해 적은 에너지 소모를 가져오는 것을 볼 수 있다. 그림 7은 센서 네트워크를 구성하는 노드들의 평균 잔존 에너지양을 보이고 있다.

그림 7에서 보는 바와 같이 노드 수가 많아지면 잔존 에너지양이 감소하는 것을 볼 수 있다. 그림 8은 각 노드가 라우팅 경로를 설정하기 위해 생성하는 라우팅 메시지 수를 보인다.

그림 8에서 보는 바와 같이 각 노드에서 생성하는 라우팅 메시지의 수는 본 논문에서 제안하는 알고리즘에서 더 적은 양을 보이고 있다. 또한 노드가 많아지면 라우팅 메시지 수가 많아진다. 싱크 노드가 쿼리를 발생하게 되면 각 노드가 라우팅 경로를 설정하기 위해 라우팅 메시지의 수가 증가하게 되고, 라우

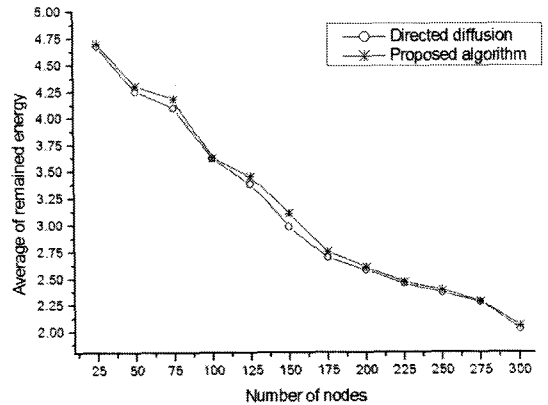


그림 7. 센서 영역을 구성하는 노드들의 평균 잔존 에너지 양

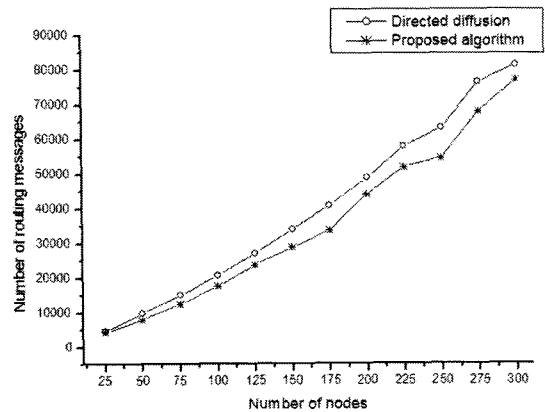


그림 8. 각 노드에서의 라우팅 메시지 수

팅 메시지 수가 증가하면 노드의 에너지 소모가 많아진다. 또한, 기존의 Directed diffusion에서는 설정된 경로의 복구를 위해 새로운 경로를 요구하게 되어, 보다 많은 에너지를 소모하게 된다. 위의 그림과 같이 기존의 Directed diffusion 알고리즘에 비해 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘에서 잔존 에너지 양이 더 많다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 알고리즘이 에너지 소모를 줄여 네트워크 전체 수명을 연장하는 장점을 가진다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 싱크 노드가 관리하는 네트워크 토폴로지 정보를 기초로 하여 라우팅 경로를 설정하고 설정된 경로를 이용하여 각 센서 노드가 싱크노드에 보고하는 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 싱크노드의 요구에 의해 수집된 라우팅 경로 정보를 비트맵 테이블로 표현하고, 이 테이블을 참조하여 라우팅 경로를 설정하도록 하였다. 그 결과 라우팅 경로에 포함되는 노드에게 장애가 발생되더라도 라우팅 경로를 재요청하지 않고, 싱크노드의 비트맵 테이블을 참조하여 대체 경로를 확보할 수 있어 라우팅 경로 재요청과 응답에 걸리는 시간과 에너지를 절약할 수 있었다. 초기 라우팅 경로 설정 단계에서는 기존의 라우팅 알고리즘이 가지는 방법보다 적은 수의 메시지를 송수신하여 라우팅 경로를 설정할 수 있으며, 수집된 토폴로지 정보를 기반으로 하여 라우팅 경로를 설정하므로 설정된 라우팅 경로가 파손되더라도 쉽게 대체 경로를 찾을 수 있는 장점을 가진다. 따라서 본 논문에서 제안하는 라우팅 방법은 싱크노드가 라우팅 경로를 빈번하게 요청하는 응용에 좋은 성능을 보이며, 각 노드의 배터리(에너지) 차이로 인해 특정 노드가 탈락되어 설정된 라우팅 경로가 끊어질 경우에도 우수한 성능을 보인다. 향후 과제에서는 라우팅 정보 수집 단계의 최적화를 통해 에너지 소모를 더욱 줄이는 라우팅 방법으로 설계하여 실제 센서 노드에 탑재하여 그 결과를 보이고자 한다.

## 참 고 문 헌

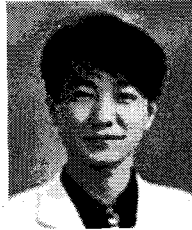
- [1] D. Tian and N.D. Georganas, "Energy Efficient Routing with Guaranteed Delivery in Wireless Sensor Networks," *Wireless Communications and Networking 2003- WCNC 2003*, 2003 IEEE Vol.3, pp. 1923-1929, March 2003.
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *Computer Networks*, Vol.38, No.4, pp. 393-422, March 2002.
- [3] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, and G. J. Pottie, "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Personal Communications*, Vol.7, No.5, pp. 16-27, 2000.
- [4] R. Min, M. Bhardwaj, S. Cho, E. Shih, A. Sinha, A. Wang, and A. Chandrakasan, "Low-Power Wireless Sensor Networks," *Proceedings of International Conference on VLSI Design*, Bangalore, India, January 2001.
- [5] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks*, Vol.3, Issue 3, pp. 325-349, May 2005.
- [6] V. Rodoplu and T. H. Meng, "Minimum Energy Mobile Wireless Networks," *IEEE Journal of Selected Areas in Communication*, Vol.17, No.8, pp. 1333-1344, 1999.
- [7] L. Li and J. Halpern, "Minimum-Energy Mobile Wireless Networks Revisited," *Proceedings of IEEE Conference of Communications (ICC '01)*, Helsinki, Finland, June 2001.
- [8] R. Krishnan and D. Starobinski, "Efficient Clustering Algorithms for Self-Organizing Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks*, In Press, Corrected Proof, Available online 22, March 2005.
- [9] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman, "A Taxonomy of Wireless Microsensor Network Models," *Mobile Computing and Communications Review* Vol.6, No.2, pp. 28-36, 2002.
- [10] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Pro-*



ceedings of 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA, August 1999.

- [11] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: a Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," *IEEE/ACM Mobicom*, pp. 56-67, 2000.
- [12] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, "Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks," *In Mobile Computing and Networking*, pp. 263-270, 1999.
- [13] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences*, Hawaii, pp. 3005-3014, January 2000.
- [14] L. Subramanian and R.H. Katz, "An Architecture for Building Self Configurable Systems," *IEEE/ACM Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC 2000)*, Boston, August 2000.
- [15] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: a Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," *UCLA Computer Science Department Technical Report*, UCLA-CSD TR-01-0023, May 2001.

- [16] T. van Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 171-180, 2003.



정 상 준

- 1999년 영남대학교 통계학과 이학사
- 2001년 영남대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2005년 영남대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2003년 경일대학교 컴퓨터공학부 전임강사

관심분야 : 유비쿼터스 센서 네트워크, Ad hoc 네트워크, 네트워크 관리, 원격 교육



정 연 기

- 1982년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1984년 영남대학교대학원 정보통신 전공(공학석사)
- 1996년 영남대학교대학원 정보통신 전공(공학박사)
- 1985년~1990년 가톨릭상지대학 전산정보처리과 조교수

1998년 호주 뉴캐슬대학교 컴퓨터공학과 방문교수  
 1990년 경일대학교 컴퓨터공학부 교수  
 관심분야 : 유비쿼터스 센서 네트워크, 멀티미디어 통신, LAN/WAN 설계, 네트워크 관리