

## 이동 싱크에 대한 섹션 기반 라우팅 기법

황미영<sup>o</sup> 김병기  
 숭실대학교 컴퓨터학과  
 (rosaria<sup>o</sup>, bgkim)<sup>o</sup>@comp.ssu.ac.kr

## Section-based Routing Scheme for Mobile Sink

Miyoung Hwang<sup>o</sup>, Byunggi Kim  
 Dept. Computer, Soongsil University

## 요 약

무선 센서 네트워크는 센서노드와 싱크로 구성되며, 센서 노드로부터 생성된 신호들은 싱크로 전송되어 처리된다. 센서네트워크는 모든 노드들이 한정된 에너지를 가지고 운용되기 때문에 센서 네트워크를 오랫동안 유지하기 위한 연구가 많이 진행되어 왔다. 대부분의 연구들은 싱크를 고정으로 가정하였다. 그러나 실제 환경에서는 사람이나 자동차 등에 의해 싱크가 이동성을 가지는 경우가 많다. 본 논문에서는 이동 싱크에 기반한 그리드 방식을 적용하여 노드의 에너지 소비를 줄이기 위한 방안을 제안한다. 이 방안은 대부분의 라우팅 작업량을 이동 싱크가 처리하고, 무선 센서지역을 세분화하여 운용함으로써 전력 소비를 줄인다. 또한 시뮬레이션에 의한 성능 평가를 통해 제안방안에 대해 분석하였다.

## 1. 서 론

센서 네트워크(Sensor Network)는 여러 개의 센서 노드(Sensor Node)들이 수집한 데이터를 스스로 구성(self-organizing)한 네트워크를 통해 서로 협력하여 싱크에게 전달하는 시스템이다. 싱크가 받은 수집 데이터들은 어플리케이션에서 가공되어 사용자에게 제공된다. 센서 네트워크의 응용 분야는 산업 전반에서 일상생활에 이르기까지 수많은 분야에 응용되며, 군사용, 교통, 환경 감시, 의료 분야, 홈 네트워크, 빌딩 제어 등 다양한 분야에 걸쳐 응용이 될 수 있다. 센서 네트워크를 구성하는 노드들은 데이터를 수집하는 센싱 기능(Sensing Unit)과 수집된 데이터를 처리하는 처리 기능(Processing Unit), 센서 노드간의 데이터 전송을 위한 통신 장치(Transceiver Unit) 등으로 구성되어 있다[1]. 센서노드들은 임의의 장소에 설치되어 무선 네트워크 환경에서 데이터를 수집하기 때문에 그 에너지에 제한을 받는다. 그러므로 노드의 에너지 소비를 조정하여 센서 네트워크의 생명주기를 늘리는 방법이 연구되었다. 센싱 기능에 소모되는 에너지를 줄이는 방법과 수집된 데이터를 처리하는 과정에서 소모되는 에너지를 줄이는 방법, 센서 노드간의 통신에 소모되는 에너지를 줄이는 방법 등이 연구되었다. 그 중 가장 많은 에너지를 소비하는 기능이 통신 기능이다. 이에 관한 이전 연구로는 애드 혹 네트워크 방식에 센서 네트워크의 데이터 수집(data aggregation)을 적용시킨 방법들과 네트워크를 계층화하여 중복된 데이터를 처리화하는 방법 등이 있다.

기존 센서 네트워크의 라우팅 방식은 고정된 싱크를 가정하였다. 그러나 네트워크 환경에 의해 싱크가 이동성을 가지게 되는 경우가 많다. 최근 이런 이동 싱크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2][3]. TTDD(Two-tier data dissemination) [2] 방식은 기존 방식이 모든 노드가 데이터 전송에 참여한다는 단점을 보완한 라우팅 방법이다. TTDD 방식에서 그리드는 이벤트를 감지한 소스 노드를 중심으로 형성되고 교차점에 위

치한 센서 노드가 싱크와 소스 사이의 통신을 위한 경로 구성을 책임지는 방식이다. 또한, 이 방식은 이동 싱크가 다른 지역으로 이동하였을 때에도 요청했던 데이터를 수신할 수 있다. 하지만 TTDD 방식은 교차점에 위치한 센서 노드의 에너지를 심각하게 고갈시키고, 센서 노드가 같은 이벤트를 다시 감지했을 때 그리드를 재구성하는데 소모되는 오버헤드를 가지는 단점이 있다. 다른 방식[3]으로 센서 네트워크를 그리드로 나누고, 나눠진 섹션을 무작위로 몇 개의 유선으로 연결하여 멀리 있는 센서 노드가 싱크로 전송할 수 있는 방식이 있다. 만약 싱크가 다른 섹션으로 이동한다면, 섹션은 연결된 그리드 섹션으로 싱크의 이동을 통보한다. 그러므로 그리드 섹션은 빠르게 싱크의 위치를 알 수 있다. 하지만, 유선을 구성하기 어려운 네트워크 지역에서 이 방법을 사용하기 어렵다는 한계점을 가지고 있다.

본 논문에서 우리의 연구는 이동성을 가진 싱크를 대상으로 하였다. 이동 싱크를 위해 우리는 다음과 같은 두 가지 상황을 고려한다. 첫 번째 상황은 이동 싱크가 요청한 데이터 메시지를 수신하기 전에 싱크가 이웃 섹션으로 이동하는 경우이다. 이 경우에 이동 싱크가 직접 해결 할 수 있는 방법이 없기 때문에 주위 센서 노드들이 데이터 메시지를 이동 싱크에게 전달해 주는 방법이 필요하다. 두 번째 상황은 라우팅 수정과 네트워크 수명 사이의 관계이다. 이동 싱크와 목적지 노드 사이의 라우팅은 싱크의 이동으로 지속적으로 변경된다. 싱크 이동에 의한 라우팅 수정이 필요할 때, 네트워크 수명 연장을 위해 소모되는 에너지가 최소가 되도록 고려해야 한다. 작은 섹션으로 재구성하여 특별하게 영역을 사용하는 섹션 기반 라우팅 방식은 전송 경로 설정이 용이하기 때문에 라우팅에 소모되는 에너지를 줄일 수 있다. 또한 간단한 방법으로 센서 노드가 가지고 있는 에너지를 파악하여 네트워크 한 부분을 집중적으로 사용하는 경우를 줄일 수 있다[4][5]. 싱크는 센서 노드들보다 에너지 제약이 덜하고 고급 운영기능이 가능한 장치이다. 전체 네트워크의 수명은 노드들이 처리하는 작업을 최소화하고 그 작업들을 싱크가 처리함으로써 연장할 수 있다. 그러므로 본 논문에서 우리는 SRMS

(Section-based Routing scheme for Mobile Sink)라 지칭한 라우팅 방법을 제안한다.

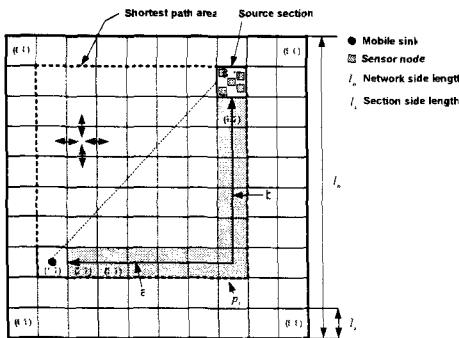
본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장은 주어진 네트워크 설정과 싱크의 전송 경로 설정 방법에 대해 설명한다. 제 3장은 그리드로 구분된 네트워크를 통해 메시지가 전달되는 방법에 대해 설명하고 제 4장에서는 이동 싱크를 지원하는 라우팅 방법을 제안한다. 제 5장에서는 제안한 방법의 성능평가를 통해 검증, 분석을 한다. 마지막으로 제 6장에서 결론을 내린다.

2. 섹션과 경로 구성

싱크가 이동성을 가지게 되었을 때, 정적인 라우팅 방식을 사용하게 되면 싱크에 정보가 도달하지 못하는 상황이 빈번해 질 것이다. 이동 싱크를 사용하는 센서 네트워크의 라우팅은 지속적으로 변화되어야 하기 때문에 이를 위한 방법이 필요하다. 이 절에서는 본 논문이 제안하는 SRMS(Section-based Routing scheme for mobile sink)의 섹션 구성 및 경로 구성에 대해 설명한다.

본 논문에서는 주어진 정보를 기반으로 이동 싱크가 센서 네트워크를 섹션으로 재구성하는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 센서 노드가 정사각형의 네트워크에 위치하고 그림 1과 같이 거리를 기준으로 나누는 것과 센서 노드들이 네트워크에 균일하게 분포되어 있음을 가정하였다. 센서 노드의 전체 수  $n$ 에 비례하는 섹션의 비율  $r$ 은 5%이고[6], 네트워크 한 변을 이루는 섹션의 수는  $s = \lfloor \sqrt{n \times r} \rfloor$ 이다. 그러므로, 네트워크를 구성하는 전체 섹션의 수는  $m = s^2$ 가 된다.

이동 싱크가 네트워크를 섹션으로 재구성한 후에 *request-message*를 전송하기 위한 경로  $P$ 를 결정한다.  $P$ 는 최단 경로  $P_s$ 와 생존 노드 수를 이용하여 결정된다. 그림 1은 초기 경로  $P_1$ 가 결정되는 것을 보여준다. 초기 상태에서 모든 센서 노드는 비슷한 수준의 에너지를 보유하고 있기 때문에  $P_1$ 는 최단 거리 지역(Shortest Path Area)에서 선출된다. 최단 거리 지역이란 그림 1에서 알 수 있듯이 대각선으로 싱크 섹션과 목적지 섹션을 포함하는 지역을 의미한다. 또한 그림 1에서처럼 섹션을 4개의 이웃 섹션과 통칭할 수 있기 때문에 최단 거리는  $P_1 = a + b - 1$ 이 된다. 만약 같은 길이를 가지는 경로가 여러 개 존재한다면 이동 싱크는 임의로 경로를 선택한다. 예를 들어 그림 1에서 싱크에서 목적지까지의 경로는  $P = [(1,7), (2,7), (3,7), \dots, (7,2), (7,1)]$ 이다.



[그림 1] 센서 네트워크의 섹션 구분

위에서 언급한 것과 같이, 초기 상태의 경로는 최단 거리를 기준으로 결정된다. 그러나 통신 중에 손실 노드가 발생한다면, 경로에 따른 생존 노드 수는 다음 경로 설정에 반드시 반영 되어야 한다. 따라서, 이동 싱크가 각 섹션의 생존 노드 수를 파악

하는 것은 매우 중요하다. 만약 경로상에 있는 센서 노드의 에너지가 일정 한계 값 이하로 내려가면, 이를 이동 싱크에게 알리기 위해 *warning-message*를 전송한다. *warning-message*에는 메시지를 생성한 센서 노드가 포함된 섹션의 정보가 기록되어 있다. 그러므로 *warning-message*를 수신한 이동 싱크는 싱크가 가지고 있는 해당 섹션의 생존 노드 수 정보를 감소시킬 수 있다. 그림 2는 이동 싱크에서 목적지 섹션까지의 경로를 설정하는 알고리즘을 정리한 것이다.

```

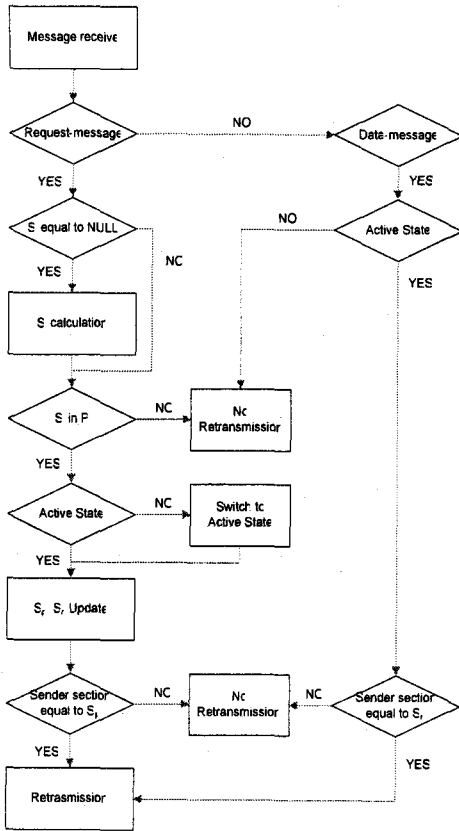
1. Initialize path ()
PT = TRUE;
tempP = random path;
while (PT){
/*check tempP=a+ b-1*/
if (tempP equal to shortest path section length){
P = tempP;
PT = FALSE;
}else{
tempP = random path;
}
}
2. Next path ()
PT = TRUE;
tempP = random path;
tempN = survival node number in tempP;
while(PT){
/*check tempP=a+ b-1*/
if (tempP equal to shortest path section length){
if (tempP equal to maximum survival number){
P = tempP;
PT = FALSE;
}
}else{
tempP = random path;
}
}
    
```

[그림 2] 경로 설정 알고리즘

3. 메시지 전송

센서 노드는 Idle 상태와 Active 상태로 나뉜다. Idle 상태에서는 *request-message*를 제외한 모든 메시지를 처리하지 않고, Active 상태에서는 모든 메시지를 받아 처리한다. 경로  $P$ 를 결정한 후에, 이동 싱크는 경로  $P$ 로 *request-message*를 목적지 섹션에 보낸다. *request-message*에는 경로  $P$ , 한 섹션의 길이  $L_s (= L_n/s)$ , 이동 싱크의 위치 정보와 목적지 섹션의 위치 정보가 첨부되어 보내진다. 본 논문에는 센서 노드가 그들의 위치 정보  $i(x, y)$ 를 GPS(Global Positioning System)를 통해 알고 있다고 가정한다. 따라서, *request-message*를 수신한 센서 노드는  $L_s$ 를 이용하여 자신의 섹션  $S_i = (\lfloor x/L_s \rfloor, \lfloor y/L_s \rfloor)$ 를 계산할 수 있다. 만약 경로  $P$ 에서 그들의 섹션 정보  $S_i$ 를 찾을 수 없다면 *request-message*를 다른 섹션으로 전송할 필요가 없다. 그러므로 센서 노드는 메시지를 무시하고 Idle 상태를 유지한다. 반대로 경로  $P$ 에 포함된 섹션의 센서 노드는 Active 상태로 전환되고, 재전송 한다. 이때, 역 전송 방식을 위해 센서 노드는 이전 섹션( $S_p$ )과 다음 섹션( $S_n$ )을 기억한다( $P=A-B-C$ 일 때, B의  $S_p=A$ , B의  $S_n=C$ ). *request-message*의 송신 섹션 정보가  $S_n$ 과 동일하다면 자신이 전송한 메시지가 역으로 전송된 것이므로 *request-message*를 무시한다. 만약 메시지의 송신 섹션

정보가  $S_p$ 와 동일하다면, 메시지에 자신의 섹션 정보  $S_i$ 를 입력하고 재전송한다. 센서 노드가 이웃 섹션 정보를 기억하고 역방향으로 전송되는 것을 방지함으로써 브로드캐스트 사용으로 발생할 수 있는 브로드캐스트 폭풍(Broadcast Storm)을 방지한다. 목적지 섹션에 있는 센서 노드가 *request-message*를 수신하게 되면 이에 대한 응답으로 *ack-message*를 전송한 후, *data-message*를 전송한다. *request-message*를 제외한 모든 메시지는 Active 상태의 센서 노드에만 수신될 수 있다. 따라서 결정된 경로를 따라 전송된 *request-message*에 의해 Active 상태로 설정된 노드만 *data-message*의 전송에 참여한다. *data-message*에는 송신하는 노드의 섹션 정보가 저장되어 전송된다. *data-message* 전송에도 역 전송 방지 방법이 사용된다. 다음 그림 3은 *request-message*와 *data-message*의 전송 단계를 정리한 것이다.

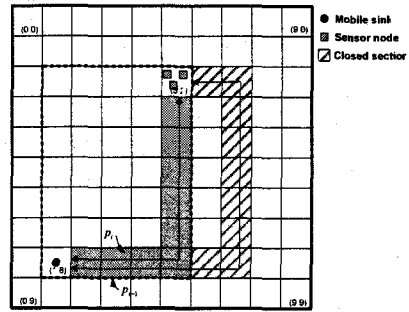


[그림 3] 메시지 전송 단계

4. 경로 유지

SRMS는 싱크가 이동을 가짐으로 발생하는 두 가지 상황을 고려한다. 첫째, *data-message*가 전송되는 중에 이동 싱크가 경로 P에 포함되지 않은 이웃 섹션으로 이동하는 경우이다. 그러므로, *data-message*를 성공적으로 이동 싱크에게 전달하기 위한 방법이 필요하다(4.1 절). 둘째, 이동 싱크는 통신 중에 지속적으로 이동하기 때문에, 전체 경로 설정이나 부분적인 경로 수정을 위한 방법이 필요하다(4.2 절). 본 논문에서 네트워크 상태는 *communication-state*와 *hold-state*로 나뉜다.

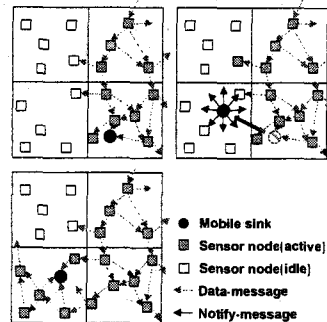
*communication-state*에서 이동 싱크는 결정된 경로에 있는 센서 노드들을 통해 목적지 섹션과 통신한다. 그러나 싱크의 이동으로 경로 수정이 필요한 경우, 목적지 섹션에 있는 센서 노드들이 *data-message*를 더 이상 보내지 못하도록 설정해야 한다. *hold-state*로 전환하기 위해 이동 싱크는 *hold-message*를 목적지 섹션으로 전송한다. *hold-message*를 수신한 센서 노드는 *release-message*가 도착할 때까지 *data-message* 송신을 중단한다. 새로운 경로가 기록된 *request-message*가 목적지 섹션에 도착하면 *ack-message*가 이동 싱크에게 전송되고, 새로운 경로를 통해 *data-message*의 전송이 재개된다. *ack-message*를 수신한 이동 싱크는 새로운 경로의 설정이 완료되었음을 판단하고 *close-message*를 전송하여 더 이상 사용하지 않는 기존 경로의 섹션을 Idle 상태로 전환한다. 그림 4는 경로 수정으로 인해 Idle 상태로 전환되는 섹션의 예이다.



[그림 4] 기존 경로의 Idle 상태 전환

4.1. 임시적인 경로 연결

*request-message*를 목적지 섹션에 전송한 이동 싱크는 *data-message*가 수신되기 전에 경로에 포함되지 않는 이웃 섹션으로 이동 할 수 있다. 이동 싱크는 주기적으로 자신이 포함된 섹션을 파악하고, 만약 섹션이 변경되면 *notify-message*를 이동한 섹션의 센서 노드에게 전송한다. 메시지를 받은 센서 노드는 Active 상태로 전환되고,  $S_n$ 에 이동 싱크의 기존 섹션 정보를 저장한다. 이 과정을 통해 *data-message*를 수신 시, 기존 섹션에 도착한 정보를 이동 싱크에게 전달 할 수 있다. 다음 그림 5는 싱크 이동에 따라 임시적인 경로 연결에 대한 것이다.



[그림 5] 싱크 이동에 따른 경로 유지

4.2. 이동 싱크의 경로 설정

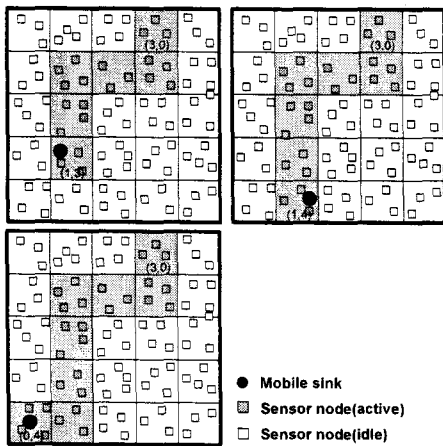
지속적으로 이동하는 이동 싱크와 목적지 섹션간의 경로는 통신 중에 효율성이 낮아질 수 있다. 이 절에서는 효율성이 낮아진

경로를 수정하는 3가지 방법(선형 확장 방식, 전체 경로 수정 방식, 부분 경로 수정 방식)을 제안한다.

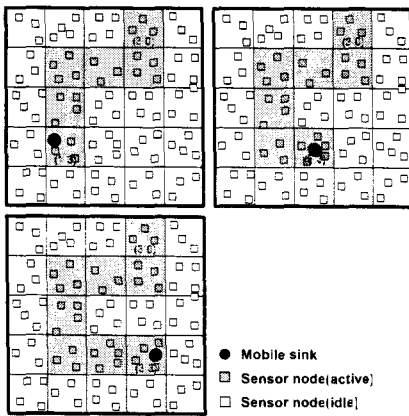
전체 경로 수정 방식과 부분 경로 수정 방식은 기본적으로 선형 확장 방식을 사용하되 추가적으로 경로 효율성을 고려하는 방법이다. 섹션을 경로에 추가하고 재의 할 때, 센서 노드는 이웃 섹션 정보를 수정하기 위한 에너지와 상태를 전환하기 위한 에너지를 소모한다. 그러므로 경로의 효율성 감소가 발생할 때마다 경로를 수정하면, 경로 수정에 소모되는 에너지 손실이 경로의 효율성 감소로 발생하는 손실보다 커지게 된다. 본 논문에서는 SRMS의 시뮬레이션에서 효율성 감소의 한계 값으로 확장 섹션에 변화를 주어 정확하게 성능을 비교하고자 하였다.

#### 4.2.1. 선형 확장 방식

선형 확장 방식(Linear Extension Method)은 싱크가 기준에 사용하던 경로에 이동 싱크의 새로운 섹션을 추가하는 방식이다.



[그림 6] 선형 확장 방식의 예



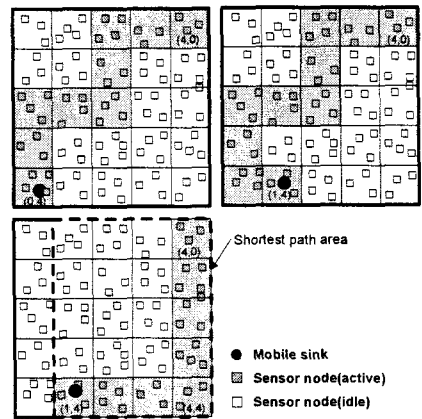
[그림 7] 선형 확장 방식의 효율성 감소 예

그림 6은 선형 확장 방식의 예이다. (1,3)에 위치하던 싱크가 (1,4), (0,4)로 이동하면, 경로  $P=[(3,0), (3,1), \dots, (1,3)]$ 에서  $P_{i+2}=[(3,0), (3,1), \dots, (1,3), (1,4), (0,4)]$ 로 확장된다. 선형 확장 방식은 간단한 방법으로 복잡도가 낮은 방법이지만 싱크의

섹션 간 이동이 여러 번 발생하는 경우, 경로의 효율성이 저하될 수 있다. 그림 7은 선형 확장 방식을 사용함으로써 경로 효율성이 낮아지는 경우의 예이다. 싱크가 (1,3)에서 (2,3), (3,3)으로 이동했을 때의 최단 거리  $P_s$ 의 값은 4이다. 그러나 현재 선형 확장 방식으로 구해진 경로  $P_i=[(3,0), (3,1), \dots, (1,3), (2,3), (3,3)]$ 은 8이다.  $P_s$ 는 최단 거리인 4보다 4개의 섹션을 더 사용하고 있으므로 효율성이 감소된 상태이다. 이처럼 선형 확장 방식의 단독 사용은 섹션 수를 증가시켜 경로의 효율성이 감소될 수 있다.

#### 4.2.2. 전체 경로 수정 방식

전체 경로 수정 방식(Total Routing Method)은 기존 경로를 고려하지 않고, 최단 경로 지역(Shortest path area) 안에서 최대 생존 노드 수를 기준으로 경로를 설정하는 방식이다. 경로 수정은 경로에 포함된 한 섹션의 생존 노드 수가 0이 된 경우와 경로 효율성이 낮아진 경우로 나눌 수 있는데, 전체 경로 수정 방식은 위 두 가지 경우에 동일한 방법으로 경로를 수정한다.



[그림 8] 전체 경로 수정 방식의 예

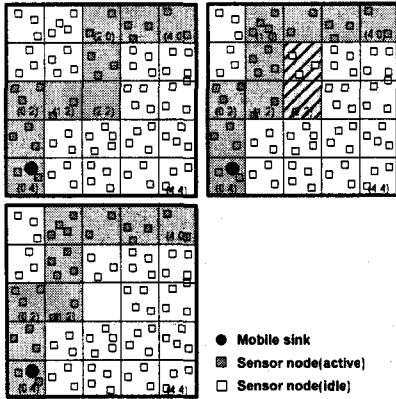
그림 8은 경로 효율성이 낮아진 경우 전체 경로 수정 방식을 적용하는 예이다. 싱크가 (0,4)에서 (1,4)로 이동함으로써 경로의 효율성 감소가 발생하였다. 이를 수정하기 위해 전체 경로 수정 방식을 적용하면, (1,4)에서 (4,0)까지의 경로를 최단 거리 지역을 벗어나지 않는 여러 경로 중 생존 노드 수가 가장 많은 경로를 선택한다.

#### 4.2.3. 부분 경로 수정 방식

부분 경로 수정 방식(Partial Routing Method)의 기본적인 아이디어는 경로 수정에서 섹션의 상태 전환을 최대한 줄이자는 것이다. 즉 기존 경로에 포함되어 Active 상태인 노드를 수정 경로에서 재 사용하는 것이다. 이를 통해 경로 수정으로 발생하는 섹션 활성화에 소모되는 에너지를 최소로 줄일 수 있다.

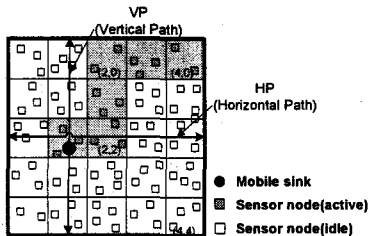
부분 경로 수정 방식은 경로에 포함된 한 섹션의 생존 노드가 0이 되어 경로가 단절된 경우와 효율성이 감소되어 경로 수정이 필요한 경우로 나뉘진다. 경로가 단절되면 싱크에서 문제가 발생한 섹션 전까지의 경로는 그대로 사용하고, 이후의 경로는 최단 거리 지역 안의 최대 생존 노드 수를 가지는 경로로 설정한다. 그림 9는 경로가 단절된 경우 부분 경로 수정 방식을 사용한 예이다. (2,2)의 섹션에 생존 노드가 없음을 인식한 이동 싱크는 경로 수정을 한다. 싱크에서 (1,2)까지의 경로에는 문제가 없기

때문에 그대로 사용하고 (1,2)에서 목적지 색선 (4,0)까지의 경로를 재설정한다. 이때, 최단 거리 지역을 벗어나지 않는 경로 중 최다 생존 노드 수를 가진 경로가 선택된다. 그림 9에서는 (1,1), (1,0) ..., (4,0)을 새로운 부분 경로로 설정하여 부분 경로 수정 방식을 적용한 최종 경로는  $P=[(0,4), (0,3), (0,2), \dots, (3,0), (4,0)]$ 이 된다.

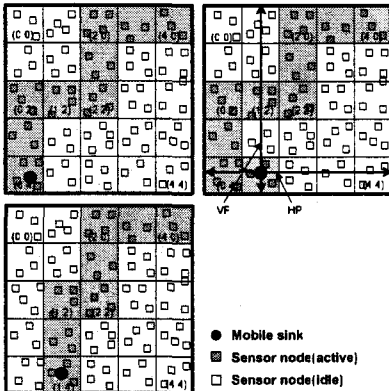


[그림 9] 부분 경로 확장 방식의 예 (생존 노드=0)

경로 효율성이 낮아지면 부분 경로 수정 방식으로 재 설정 할 수 있다. 이전 경로의 어느 색선을 재 사용 할 것인지 결정하는 중요한 요소로 “비교 경로”를 사용한다. 비교 경로는 그림 10과 같이 수평 비교 경로 HP(Horizontal Path)와 수직 비교 경로 VP(Vertical Path)로 구성된다. 이동 싱크를 기준으로 HP나 VP에 겹치는 색선을 기준으로 재 사용 색선이 결정된다.



[그림 10] 비교 경로



[그림 11] 부분 경로 수정 방식의 예(효율성 감소)

그림 11은 효율성 감소가 발생한 경로에 부분 경로 수정 방식을 적용하는 예이다. 그림 11에서 싱크가 (0,4)에서 (1,4)로 이동함으로써 경로 효율성 감소가 발생하였다. 먼저 이동 싱크를 기준으로  $VP=[(1,0), (1,1), \dots, (1,4)]$ 와  $HP=[(0,4), (0,3), \dots, (4,4)]$ 를 설정하고 기존 경로와 겹치는 색선을 찾는다. 위 그림에서 비교 경로와 겹치는 색선은 (0,4)와 (1,2)가 있다. (0,4)에서 목적지 색선까지의 최단 거리는 9이고, (1,2)에서 목적지까지의 최단 거리는 5이므로 이동 싱크는 (1,2)를 선택한다. 이동 싱크에서 (1,2)까지의 경로를 (1,4), (1,3), (1,2)로 설정하고 (1,2)에서 목적지 색선까지의 경로는 기존 경로를 그대로 사용한다. 부분 경로 수정 방식의 적용이 완료된 후 경로는  $P=[(1,4), (1,3), (1,2), \dots, (3,0), (4,0)]$ 이 된다.

5. 시뮬레이션 및 성능 평가

5.1. 시뮬레이션 환경

본 장에서는 논문에서 제안한 선형 확장 방식과 전체 경로 수정 방식, 부분 경로 수정 방식의 생존 시간과 색선 별 에너지 소모량의 변화 량을 비교 분석하였다. 논문에서 제안한 SRMS를 적용했을 때의 성능을 분석, 평가하기 위한 시뮬레이션 환경 및 파라미터에 대해 설명한다. 시뮬레이션 환경은 300 x 300 m의 영역 내부에 500개의 노드를 균일하게 분산시켜 네트워크의 생존 시간과 색선 별 에너지 소모량의 변화 량을 살펴보았다. 네트워크를 구성하는 모든 색선에는 색선 간 통신이 가능하도록 노드가 존재하고, 해당 노드들은 균일하게 분포되어 있다. 시뮬레이션에서 사용하는 환경 파라미터들을 살펴보면, 노드가 가지는 초기 에너지는 0.5kW이고, 네트워크 노드 수에 대한 색선의 비율은 5%이다[6]. 전송에 소모되는 에너지는 0.66W이고 수신 시에 소모되는 에너지는 0.395이다. 센서 노드가 Idle 상태를 유지하게 되면 0.035의 에너지를 소모하게 된다[7]. 표 1은 시뮬레이션에서 사용한 파라미터들을 정리한 것이다.

Item	Value
Terrain	300m x 300m
Node Number	500
Node Radius	50 m <sup>2</sup>
Transmit mode EC(E <sub>Transmit</sub> )	0.66 W
Receive mode EC(E <sub>Receive</sub> )	0.395 W
Idle mode EC(E <sub>idle</sub> )	0.035 W
Node Initial Energy(E <sub>init</sub> )	0.5 kW

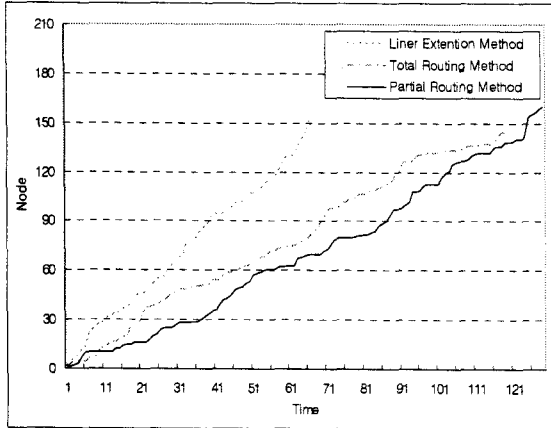
[\* EC: Energy Consumption]

[표 1] 시뮬레이션의 파라미터

5.2. 성능 평가

본 장에서는 논문에서 제안한 선형 확장 방식, 전체 경로 수정 방식, 부분 경로 수정 방식을 비교하여 성능 평가하고자 한다. 그림 12는 시간에 따라 각 방식의 손실 노드 수를 비교하기 위한 그림이다. 전체 경로 수정방식이나 부분 경로 수정 방식에 비해 선형 확장 방식의 손실 노드 수는 짧은 시간 동안 급격히 증가하였다. 이는 싱크의 색선 이동 시, 선형 확장 방식이 경로의 효율성을 고려하지 않고 기존 경로에 싱크의 새로운 색선을 추가하기 때문이다. 선형 확장 방식은 이동 싱크가 이웃한 색선으로 이동했을 때, 싱크가 이동한 색선을 포함한 새로운 경로를 request-message에 기록하여 전송하는 일을 한다. 이때, 나머지 두 방법에 비해 request-message를 처리해야 하는 색선의 수가 많으므로 소모되는 에너지의 양이 크다. 센서 노드가 상태

전환이 되는 경우 추가적인 에너지 소모가 발생한다. 경로 수정 과정에서 상태 전환이 되는 섹션의 수는 전체 경로 수정 방식에 비해 부분 경로 수정 방식이 적다. 따라서 전체 경로 수정 방식을 적용한 경우, 부분 경로 수정 방식을 적용한 경우보다 빨리 종료된다. 그림 12를 통해 3가지 방식 중 선형 확장 방식이 생존 시간이 가장 짧고, 부분 경로 수정 방식의 생존 시간이 가장 길다는 것을 확인 할 수 있다.



[그림 12] 시간에 따른 노드 손실

6. 결론

여러 분야에서 활용도가 높은 센서 네트워크는 센서 노드들의 에너지 제약이라는 단점이 있다. 이런 센서 네트워크에 대한 기존 연구들은 고정 싱크를 가정하였으나 실제 많은 분야에서 사람이나 차량에 의해 싱크가 이동성을 가지는 경우가 많다. 그러므로 본 논문에서는 센서 노드가 부담해야 하는 작업을 최소한으로 줄이고 통신을 위한 대부분의 작업을 이동 싱크가 처리하게 함으로써 센서 네트워크의 생명 주기를 연장하는 방안을 제안하였다. 이를 위해 주어진 네트워크에 그리드 방식을 적용하여 섹션으로 구분하여 네트워크에 대한 세부적인 정보를 싱크가 알 수 있도록 하였다. 이동 싱크는 목적지에 메시지를 전달하기 위한 경로 설정 작업을 책임지며 싱크가 이동함으로써 발생하는 경로 수정을 위해 다음과 같은 세 가지 방법을 사용한다. 첫째, 싱크가 다른 섹션으로 이동한 경우 새로운 싱크의 섹션을 기존 경로에 조건 없이 추가하여 새로운 경로를 구성하는 선형 확장 방식, 둘째, 경로 효율성 감소 값이 논문에서 정의한 한계 값보다 커지면 싱크와 소스간의 경로를 새롭게 설정하는 전체 경로 수정 방식이다. 마지막 방법은 전체 경로 수정 방식과 유사하지만 기존 경로 일부분을 재사용하여 섹션 활성화 에너지를 줄이는 부분 경로 수정 방식이다. 시뮬레이션을 통해 다른 두 가지 방법에 비해 부분 경로 수정 방식을 사용하는 것이 노드의 에너지 소모를 줄여 네트워크의 생명 주기가 가장 긴 것을 확인 할 수 있었다.

[참고 문헌]

[1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yougesh Sankarasubramaniam and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Vol.40, No.8, pp.102-114, August 2002  
 [2] H.Luo, F.Ye, J.Cheng, S.Lu and L.Zhang, "TTDD: Two-tier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks," Proc. Eighth Annual Int. Conf. on

Mobile Computing and Networking (MOBICOM'02), pp.148- 159, Sept. 2002.

[3] G. Sharma and R. Mazumdar, "Hybrid Sensor Networks: A Small World," In ACM MOBIHOC, pp.366-377, Mar 2005

[4] J. Zhand and H. Shi, "Energy-efficient routing for 2D grid wireless sensor networks," Information Technology: Research and Education, Proceedings, ITRE2003, pp.311-315, Aug 2003

[5] D. Nicholson, "An automatic method for eliminating spurious data from sensor networks," Target Tracking 2004: Algorithms and Applications, IEEE, pp.57-61, March 2004

[6] W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan and H. Balakrishnan, " An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.1, No.4, pp.660-670, Oct. 2002

[7] C. Schurgers, V. Tsiatsis and M.B. Srivastava, "STEM: Topology Management for Energy Efficient Sensor Networks," Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE, Vol.3, pp.1099-1108, Sept 2002