

센서 네트워크에서 이동 싱크 라우팅 기법

황미영^{1*} · 박상준² · 길아라³ · 김병기³

Mobile Sink Routing Scheme for Sensor Networks

Mi-Young Hwang · Sang-Joon Park · A-Ra Khil · Byung-Gi Kim

ABSTRACT

Wireless Sensor Network consists of sensor nodes and sink. A sink receives and processes signals created from sensor nodes. Many studies have been performed, since sensor network allows multiple nodes to run using a limited amount of energy. Most researches have focused on using fixed sink. However, in many cases, the sink has mobility effected by man, cars, and etc. This research proposes three methods for reducing the node's energy consumption which is applied the Grid method based on mobile sink. Most routing processes handled by the mobile sink and wireless sensor area is separated and operated respectively. So, this research allows decreasing the power costs. In addition, it also proposes methods using simulation to test the quality of the performance.

Key words : Wireless Sensor Network, Section, Grid, Mobile Sink, Path Maintenance

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.

주요어 : 무선 센서 네트워크, 섹션, 그리드, 이동 싱크, 경로 유지

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 네트

워크의 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 노드 간의 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^{[2][4]}. 센싱 기능에 소모되는 에너지를 줄이는 방법^[5]과 수집된 데이터를 처리하는 과정에서 소모되는 에너지를 줄이는 방법^{[6][8]}, 센서 노드간의 통신에 소모

* 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음
2006년 9월 9일 접수, 2006년 11월 9일 채택

¹⁾ 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과
²⁾ 숭실대학교 정보미디어기술연구소
³⁾ 숭실대학교 컴퓨터학부

주 저 자: 황미영
교신저자: 김병기
E-mail: rosaria@comp.ssu.ac.kr

되는 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 방법들^{[9],[11]}과 네트워크를 계층화하여 중복된 데이터를 처리하는 방법^{[12],[13]}등이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 이동 싱크를 고려하여 연구된 기존 방법에 대해 설명하고 제 3장은 주어진 네트워크 설정과 싱크의 전송 경로 설정 방법에 대해 설명한다. 제 4장은 그리드로 구분된 네트워크를 통해 메시지가 전달되는 방법에 대해 설명하고 제 5장에서는 이동 싱크를 지원하는 라우팅 방법을 제안한다. 제 6장에서는 제안한 방법의 성능평가를 통해 검증, 분석을 한다. 마지막으로 제 7장에서 결론을 내린다.

2. 관련 연구

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^{[18],[19]}. TTDD(Two-tier data dissemination)^[18]방식은 기존 방식이 모든 노드가 데이터 전송에 참여한다는 단점을 보완한 라우팅 방법이다. TTDD 방식에서 그리드는 이벤트를 감지한 센서 노드를 중심으로 형성되고 교차점에 위치한 센서 노드가 싱크와 목적지 섹션 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^[19]으로 센서 네트워크를 그리드로 나누고, 나뉜 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 해결할 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^{[14],[17]}. 싱크는 센서 노드들보다 에너지 제약이 덜하고 고급 운영 기능이 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 지정한 라우팅 방법을 제안한다.

3. 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^[12], 네트워크 한 변을 이루는 섹션의 수는 $s = \lceil \sqrt{n \times r} \rceil$ 이다. 그러므로 네트워크를 구성하는 전체 섹션의 수는 $m = s^2$ 가 된다. 표 1은 수식에 사용된 기호를 정리한 것이다.

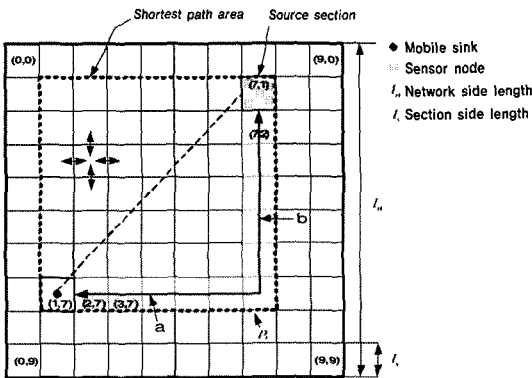


그림 1. 센서 네트워크의 섹션 구분

표 1. 기호 정리

기호	정의
n	네트워크의 센서 노드 수
r	섹션의 비율
s	네트워크 한 변을 이루는 섹션의 수
m	네트워크를 구성하는 전체 섹션의 수

이동 싱크가 네트워크를 섹션으로 재구성한 후에 *path-message*를 전송하기 위한 경로 P를 결정한다. P는 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 통신할 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.

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 반영되어야 한다. 따라서 이동 싱크가 각 섹션의 생존 노드 수를 파악 하는 것은 매우 중요하다. 만약 경로 상에 있는 센서 노드의 에너지가 일정 한계 값 이하로 내려가면, 이를 이동 싱크에게 알리기 위해 *warning-*

```
/*check tempP=a+b-1*/
```

```

1. Initialize path ()
   tempP = random path;
   while (){
     if (tempP == shortest path section length){
       P = tempP;
       break;
     }else{
       tempP = random path;
     }
   }

2. Next path ()
   tempP = random path;
   temN = survival node number in tempP;
   while(){
     if (tempP == shortest path section length){
       if (tempP == maximum survival number){
         P = tempP;
         break;
       }
     }else{
       tempP = random path;
     }
   }

```

그림 2. 경로 설정 알고리즘

*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. Initialize path ()에서는 랜덤으로 선출한 경로가 최단 경로인지를 비교하고 Next path ()에서는 사용하면서 발생하는 손실 노드를 고려하기 위해 최단 경로와 생존 노드 수를 고려한다.

4. 메시지 전송

센서 노드는 Idle 상태와 Active 상태로 나뉜다. Idle 상태에서는 *path-message*를 제외한 모든 메시지를 처리하지 않고, Active 상태에서는 모든 메시지를 받아 처리한다. 경로 P를 결정한 후에, 이동 싱크는 경로 P로 *path-message*를 목적지 섹션에 보낸다. *path-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 가

정한다. 따라서 *path-message*를 수신한 센서 노드는 L_s 를 이용하여 자신의 섹션 $S_i = ([x/l_s], [y/l_s])$ 을 계산할 수 있다. 만약 경로 P에서 그들의 섹션 정보 S_i 를 찾을 수 없다면 *path-message*를 다른 섹션으로 전송할 필요가 없다. 그러므로 센서 노드는 메시지를 무시하고 Idle 상태를 유지한다. 반대로 경로 P에 포함된 섹션의 센서 노드는 Active 상태로 전환되고, 재전송한다. 이때, 역 전송 방식을 위해 센서 노드는 이전 섹션(S_p)과 다음 섹션(S_n)을 기억한다(P=A-B-C일 때, B의 $S_p=A$, B의 $S_n=C$). *path-message*의 송신 섹션 정보가 S_n 과 동일하다면 자신이 전송한 메시지가 역으로 전송된 것이므로 메시지를 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 역 방향으로 전송되는 것을 방지함으로써 브로드 캐스트 사용으로 발생할 수 있는 브로드 캐스트 폭풍(Broadcast Storm)을 방지한다. 목적지 섹션에 있는 센서 노드가 *path-message*를 수신하게 되면 이에 대한 응답으로 *ack-message*를 전송한다. *ack-message*를 수신한 이동 싱크는 목적지 섹션에 있는 센서 노드에게 *request-message*를 전송 해당 데이터가 실린 *data-message*를 수신 받는다. *path-message*를 제외한 모든 메시지는 Active 상태의 센서 노드에만 수신될 수 있다. 따라서 결정된 경로를 따라 전송된 *path-message*에 의해 Active 상태로 설정된 노드만 *data-message*의 전송에 참여한다. 다음 그림 3은 각 메시지의 전송 단계를 정리한 것이다.

5. 경로 유지

SRMS는 싱크가 이동성을 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(5.1 절). 둘째, 이동 싱크는 통신 중에 지속적으로 이동하기 때문에, 전체 경로 설정이나 부분적인 경로 수정을 위한 방법이 필요하다(5.2 절). *path-message*에 대한 *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.

5.1. 임시적인 경로 연결

*request-message*를 목적지 섹션에 전송한 이동 싱크는 *data-message*가 수신되기 전에 경로에 포함되지 않는 이웃 섹션으로 이동할 수 있다. 이동 싱크는 주기적으로 자신이 포함된 섹션을 파악하고, 만약 섹션이 변경되면 *notify-message*를 이동한 섹션에 포함되는 센서 노드에게 전송한다. 메시지를 받은 센서 노드는 Active 상태로 전환되고, S_n 에 이동 싱크의 기존 섹션 정보를 저장한다. 이

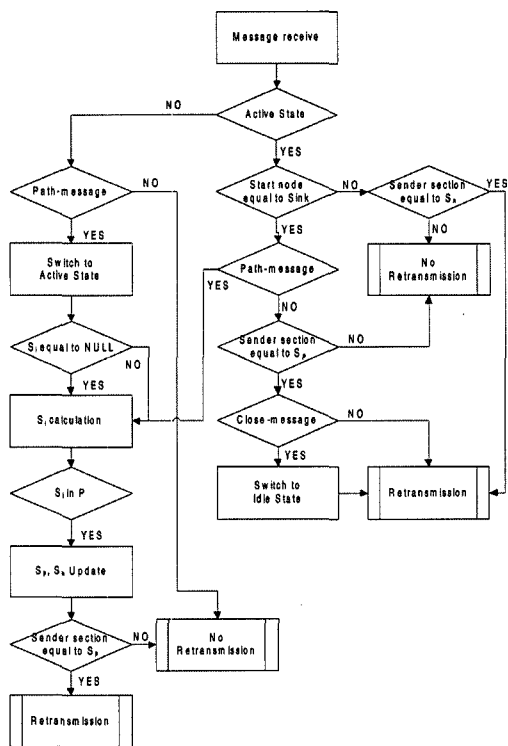


그림 3. 메시지 전송 단계

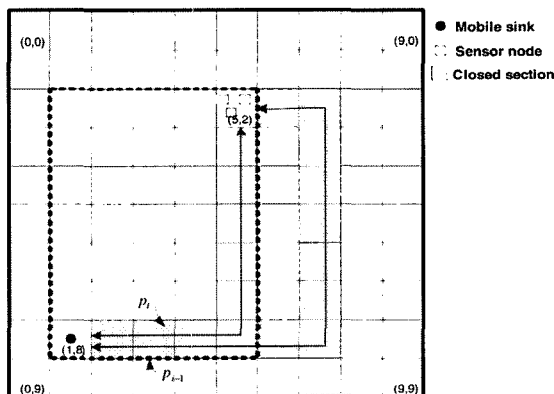


그림 4. 기존 경로의 Idle 상태 전환

과정을 통해 *data-message*를 수신 시, 기존 섹션에 도착한 정보를 이동 싱크에게 전달 할 수 있다. 만약, 임의적인 경로 연결을 반복한 이동 싱크가 Active 상태인 섹션으로 이동하게 되면, 이는 경로가 원형을 이루게 된 것이므로 아래 제안하는 방식으로 경로를 수정하게 된다. 다음 그림 5는 싱크 이동에 따른 임의적인 경로 연결에 대한 것이다.

5.2. 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 제외 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.

5.2.1 선형 확장 방식

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

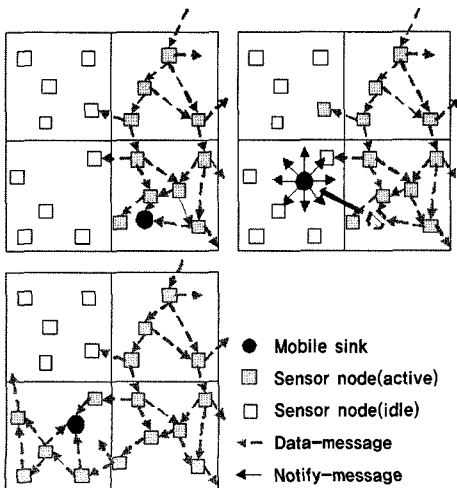


그림 5. 싱크 이동에 따른 경로 유지

그림 6은 선형 확장 방식의 예이다. (1,3)에 위치하던 싱크가 (1,4), (0,4)로 이동하면, *notify-message*가 전송되어 경로 $P_i=[(3,0), (3,1), \dots, (1,3)]$ 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 저하 될 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

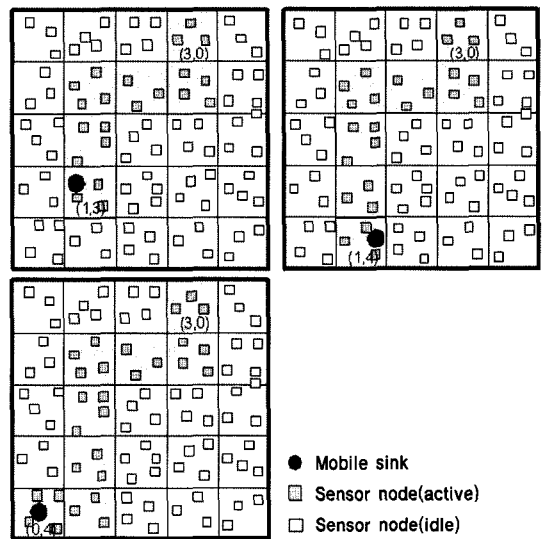


그림 6. 선형 확장 방식의 예

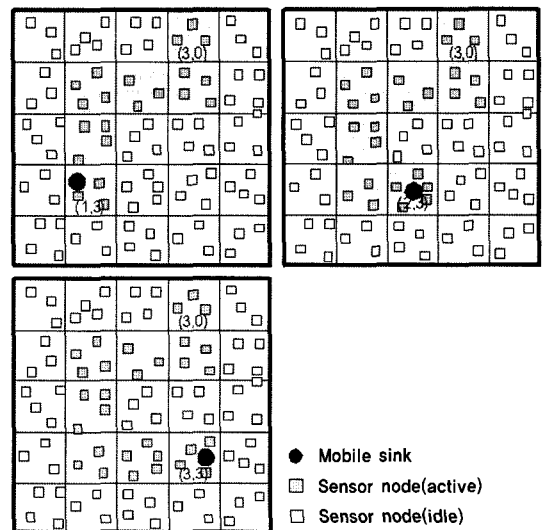


그림 7. 선형 확장 방식의 효율성 감소 예

현재 선형 확장 방식으로 계산된 경로 $P_i = [(3,0), (3,1), \dots, (1,3), (2,3), (3,3)]$ 의 값은 8이다. P_i 는 최단 거리인 4보다 4개의 섹션을 더 사용하고 있으므로 효율성이 감소된 상태이다. 이처럼 선형 확장 방식의 단독 사용은 섹션 수를 증가시켜 경로의 효율성이 감소 될 수 있다.

5.2.2 전체 수정 확장 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 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. 이동 싱크는 *path-message*를 새로운 경로에 전송하여 경로를 수정하고, 이에 대해 목적지 섹션 섹션에 있는 센서 노드가 보낸 *ack-message*를 받는다. *ack-message*를 받은 이동 싱크는 기존 경로 중 Idle 상태로 전환해야 하는 섹션 정보가 저장된 *close-message*를 기존 경로를 보낸다. 그림 8에서 *close-message*에 저장될 섹션 정보는 (2,4), (3,4),

(4,4), (4,3), (4,2), (4,1)이다.

5.2.3 부분 수정 확장 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 재사용하는 것이다. 이를 통해 경로 수정으로 발생하는 섹션 활성화에 소모되는 에너지를 최소화 줄일 수 있다.

부분 경로 수정 방식은 경로에 포함된 한 섹션의 생존 노드가 0이 되어 경로가 단절된 경우와 효율성이 감소되어 경로 수정이 필요한 경우로 나뉜다. 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 *path-message*를 전송하여 경로 수정을 한다. 싱크에서 (1,2)까지의 경로에는 문제가 없기 때문에 그대로 사용하고 (1,2)에서 목적지 섹션 (4,0)까지의 경로를 재설정한다. 이때, 최단 거리 지역을 벗어나지 않는 경로 중 최대 생존 노드 수를 가진 경로가 선택된다. 그림 9에서 (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. 이동 싱크는 새로운 경로 정보를 *path-message*에 저장하여 목적지 섹션에 전송한다.

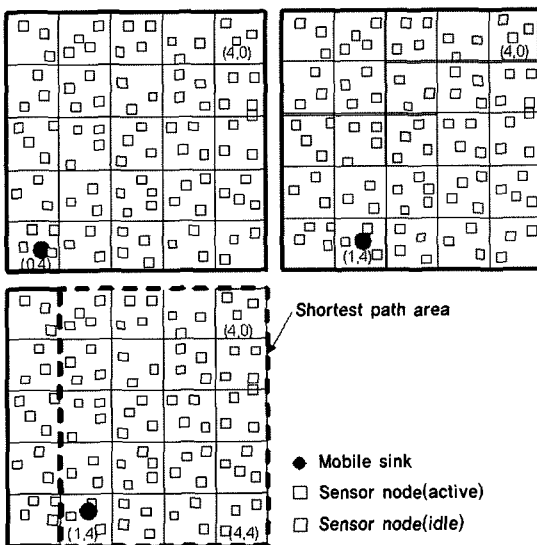


그림 8. 전체 경로 수정 방식의 예

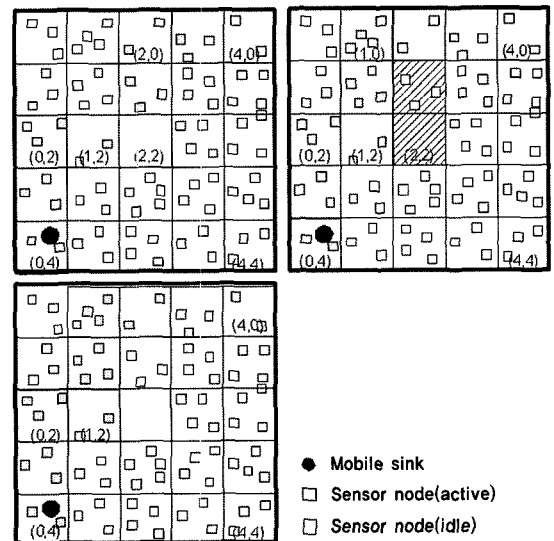


그림 9. 부분 경로 확장 방식의 예 (생존 노드 = 0)

경로 효율성이 낮아지면 부분 경로 수정 방식으로 재설정 할 수 있다. 이전 경로의 어느 섹션을 재사용 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 접치는 섹션을 기준으로 재사용 섹션이 결정된다. 그림 11은 효율성 감소가 발생한 경로에 부분 경로 수정 방식을 적용하는 예이다. 이동 싱크가 (0,4)에서 (1,4)로 이동함으로써 경로 효율성 감소가 발생하였다. 먼저 이동 싱크를 기준으로 VP=[(1,0), (1,1), ..., (1,4)]와 HP=[(0,4), (0,3), ..., (4,4)]를 설정하고 기존 경로와 접치는 섹션을 찾는다. 그림 11에서 비교 경로와 접치는 섹션은 (0,4)와 (1,2)가 있다. (0,4)에서 목적지 섹션까지의 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 섹션까지의 경로는 기존 경로를 그대로 사용한다. 부분 경로 수정 방식의 적용이 완료된 후 경로는 P=[(1,4), (1,3), (1,2), ..., (3,0), (4,0)]이 된다. 위 과정을 통해 계산된 경로는 path-message에 저장되어 새로운 경로를 통해 목적지 섹션까지 전달되고, 이동 싱크가 ack-message를 수신한 후에 (0,2), (0,3), (0,4)가 저장된 close-message를 전송하여 더 이상 경로에 포함되지 않는 섹션을 Idle 상태로 전환한다.

6. 시뮬레이션 및 성능 평가

6.1. 기존 방식(TTDD)과 비교

SRMS가 섹션 구성을 초기에 한번만 실행하는 것에 비해 TTDD는 이벤트를 감지한 센서 노드들 각자가 섹션을 구성한다. 같은 이벤트를 감지한 이웃 노드가 다른 섹션을

구성하는 경우가 발생하는 경우, 전체 네트워크에 있는 센서 노드들이 섹션 구성에 소모하는 에너지의 양은 많아지게 된다. 또한 TTDD는 구성된 섹션 구조를 유지하기 위해 update-message를 주기적으로 전송한다. 이동 싱크가 다른 섹션으로 이동하는 경우에 데이터 전송이 중단된 상황을 파악한 이동 싱크는 Lower-tier Query Flooding을 통해 데이터 요청을 다시 하고 중간에 경로가 되는 센서 노드들은 Higher-tier Grid Forwarding을 통해 목적지 센서 노드까지의 경로를 재설정한다. Higher-tier Grid Forwarding에서 경로에 포함된 센서 노드들은 update-message를 통해 경로를 구성하게 된다. 이처럼 이동 싱크의 섹션 이동이 자주 발생하는 경우 TTDD에서는 경로 수정에 많은 에너지를 소모하게 된다. 이는 TTDD가 대규모 네트워크를 대상으로 한 알고리즘이기 때문이다. 다음 그림 12는 이동 싱크의 섹션 이동에 따른 TTDD와 SRMS의 경로 수정 방법을 비교한 것이다.

이동 싱크가 그림 12와 같이 이동하는 경우, SRMS의 경우 3번의 notify-message로 경로를 유지하게 된다. 반면,

표 2. 시뮬레이션의 파라미터

Item	Value
Terrain	300m x 300m
Node Number	500
Node Radius	50 m ²
Transmit mode EC(E _{transmit})	0.66 W
Receive mode EC(E _{receive})	0.395 W
Idle mode EC(E _{idle})	0.035 W
Node Initial Energy(E _{mit})	0.5 kW

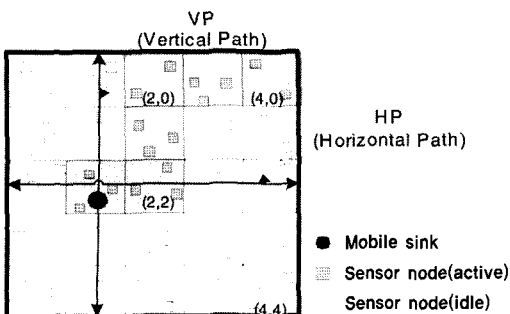


그림 10. 비교 경로

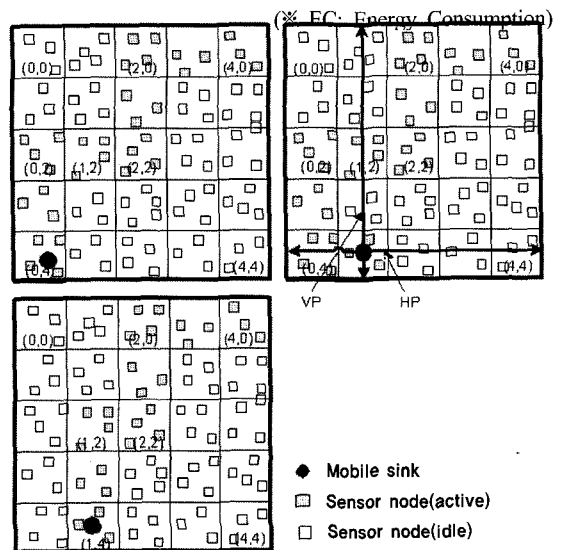
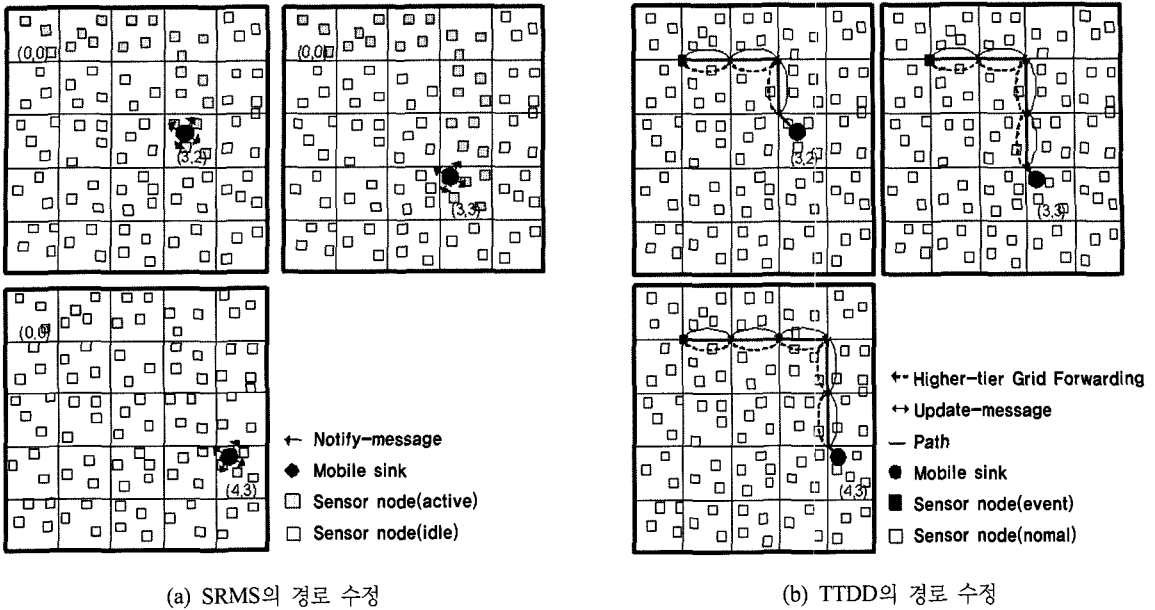


그림 11. 부분 경로 수정 방식의 예 (효율성 감소)



(a) SRMS의 경로 수정

(b) TTDD의 경로 수정

그림 12. SRMS와 TTDD의 경로 수정 방법 비교

TTDD는 이동 싱크에서 교차점에 존재하는 센서 노드까지의 Lower-tier Query Flooding 1번, 이동 싱크에 가장 가까운 교차점에서 목적지 센서 노드까지의 Higher-tier Grid Forwarding 1번, 그리고 경로 역할을 맡은 모든 센서 노드간의 update-message 전송이 발생한다.

6.2. 시뮬레이션 환경

본 장에서는 논문에서 제안한 선형 확장 방식과 전체 경로 수정 방식, 부분 경로 수정 방식의 생존 시간과 섹션 별 에너지 소모량의 변화량을 비교 분석하였다. 논문에서 제안한 SRMS를 적용했을 때의 성능을 분석, 평가하기 위한 시뮬레이션 환경 및 파라미터에 대해 설명한다.

이동 싱크는 상하좌우 4방향으로 이동이 가능하며, 한 방향으로만 이동하는 것이 아니라 다음 기존 위치로 다시 돌아올 수 있다. 한 번에 두 섹션을 통과하지 못하는 속도의 이동 싱크는 SRMS 방식을 적용할 수 있다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 이동 싱크의 속도를 $60m^2$ 로 설정하고, 싱크의 이동은 상하좌우로 이동하는 것과 섹션 이동이 없는 경우를 임의적으로 선택하였다. SRMS는 싱크의 섹션 이동에 대해 집중적으로 연구한 알고리즘이므로 싱크의 이동을 빈번히 할 필요가 있다. 시뮬레이션에서 싱크는 매 2초마다 이동하며, 시뮬레이션은 총 240초 동안 이뤄진다.

시뮬레이션의 대상이 되는 네트워크는 $300 \times 300m$ 이며,

내부에 500개의 노드를 균일하게 분산시켜 네트워크의 생존 시간과 섹션 별 에너지 소모량의 변화량을 살펴보았다. 네트워크를 구성하는 모든 섹션에는 섹션 간 통신이 가능하도록 노드가 존재하고, 해당 노드들은 균일하게 분포되어 있다. 시뮬레이션에서 사용하는 환경 파라미터들을 살펴보면, 노드가 가지는 초기 에너지는 $0.5kW$ 이고, 네트워크 노드 수에 대한 섹션의 비율은 5%이다^[2]. 전송에 소모되는 에너지는 $0.66W$ 이고 수신시에 소모되는 에너지는 0.395이다. 센서 노드가 Idle 상태를 유지하게 되면 0.035의 에너지를 소모하게 된다^[18]. 표 2는 시뮬레이션에서 사용한 파라미터들을 정리한 것이다. SRMS에서는 경로 수정에 소모되는 에너지가 효율성 감소에 따른 에너지 소모보다 커지는 것을 방지하기 위해 확장 섹션의 수를 한계 값으로 사용하였다. 여러 가지 상황에서 성능을 비교 분석하기 위해 경로 효율성 감소의 한계 값을 2와 4로 설정하였다.

6.3. 성능 평가

본 장에서는 논문에서 제안한 선형 확장 방식, 전체 경로 수정 방식, 부분 경로 수정 방식을 비교하여 성능 평가하고자 한다. 각 방식의 생존 시간에 차이가 발생하는 이유는 경로 설정에 소모되는 에너지와 데이터 전송에 소모되는 에너지가 3가지 방법 모두 다르기 때문이다.

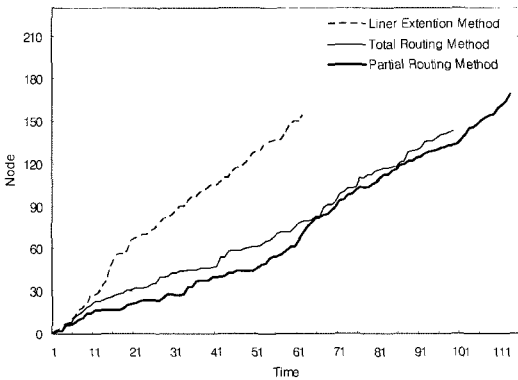
이동 싱크가 이웃 섹션으로 이동했을 때, 싱크가 이동

한 섹션을 포함한 새로운 경로를 *path-message*에 기록하여 전송한다. 메시지를 받은 센서 노드는 자신의 섹션이 경로에 포함되는지 판단하고 상태 전환 및 경로 상 전후 섹션 저장을 한다. 선형 확장 방식은 싱크의 섹션 이동이 있을 때마다 *path-message*를 전송하고 다른 두 방법에 비해 메시지를 처리해야 하는 섹션의 수가 많으므로 경로 설정에 소모되는 에너지의 양이 크다. 또한 메시지 전송에서도 이동 싱크에게 도달하기 위해 거쳐야 하는 섹션의 수가 상대적으로 많기 때문에 에너지 손실이 크다. 이전 경로를 부분적으로 재사용되는 부분 경로 수정 방식이 비해 전체 경로 수정 방식은 이전 경로를 고려하지 않고 모든 경로를 다시 설정한다. 따라서 경로 수정 과정에서 Active 상태에서 Idle 상태로 전환되는 섹션 및 Idle 상태에서 Active 상태로 전환되는 섹션의 수는 전체 경로 수정 방식이 부분 경로 수정 방식보다 많다. 섹션의 상태 전

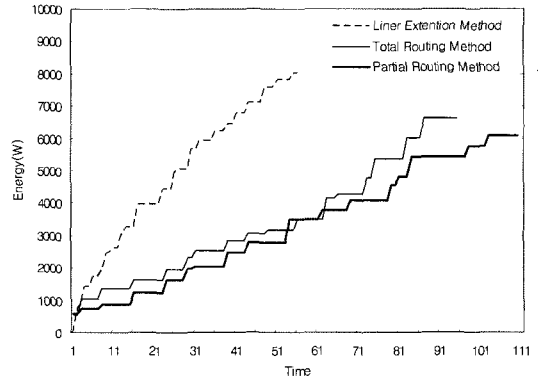
환 및 *close-message*를 전송하는데 소모되는 에너지에서 두 방식은 차이가 난다. 그림 13은 위에서 설명한 경로 수정에 소모된 에너지의 누적 양을 표시한 그림이다. 이를 통해 선형 확장 방식이 경로 설정에 소모한 에너지가 가장 많고 부분 경로 수정 방법이 전체 경로 수정 방법의 에너지 소모보다 적은 양의 에너지로 경로 수정이 되었음을 알 수 있다. 그림 14는 시간에 따라 각 방식의 손실 노드 수를 비교한 그림으로 3가지 방식 중 부분 경로 수정 방식의 생명 주기가 가장 길다는 것을 확인 할 수 있다.

7. 결론

여러 분야에서 활용도가 높은 센서 네트워크는 센서 노드들의 에너지 제약이라는 단점이 있다. 이런 센서 네트워크에 대한 기존 연구들은 고정 싱크를 가정하였으나

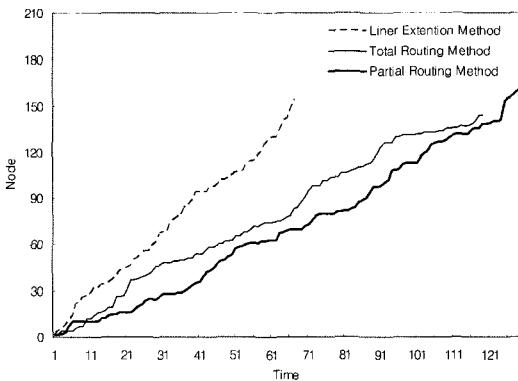


(a) 확장 섹션 = 2

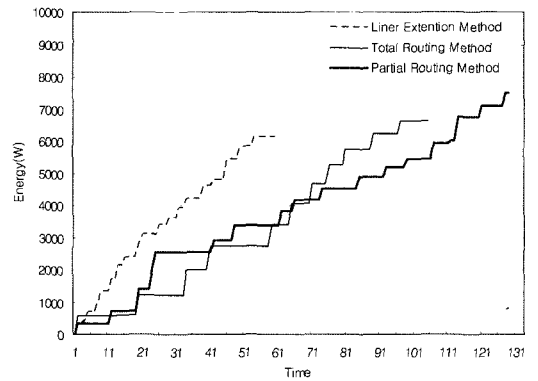


(b) 확장 섹션 = 4

그림 13. 경로 설정에 의해 소모된 에너지 양



(a) 확장 섹션 = 2



(b) 확장 섹션 = 4

그림 14. 시간에 따른 노드 손실

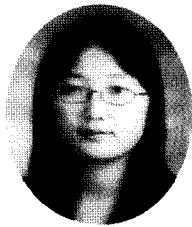
실제 많은 분야에서 사람이나 차량에 의해 싱크가 이동성을 가지는 경우가 많다. 그러므로 본 논문에서는 센서 노드가 부담해야 하는 작업을 최소한으로 줄이고 통신을 위한 대부분의 작업을 이동 싱크가 처리하게 함으로써 센서 네트워크의 생명 주기를 연장하는 방안을 제안하고 시뮬레이션을 통해 성능을 비교하였다. 본 논문에서는 싱크의 이동 후에 경로를 수정하는 방식을 제안하였으나 싱크가 이동전에 자신의 이동 경로를 예측 할 수도 있다고 생각된다. 그러므로 향후 싱크의 이동에 대비하여 선 작업을 함으로써 에너지 사용의 효율을 높이는 방법이 연구될 필요가 있다.

참 고 문 헌

- Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yougesh Sankarasubramaniam and Erdal Cayirci (2002), "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.8, pp. 102-114.
- F. Ordonez and B. Krishnamachari (2004), "Optimal Information Extraction in Energy-Limited Wireless Sensor Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.22, No.6, pp. 1121-1129.
- Hsi-Feng Lu, Yao-Chung Chang, Hsing-Hsien Hu and Jiann-Liang Chen (2004), "Power-efficient scheduling method in sensor networks, Systems, Man and Cybernetics," 2004 IEEE International Conference on, Vol.5, pp. 4705-4710.
- Ali Iranli, Hanif Fatemi and Massoud Pedram (2005), "Lifetime-Aware Intrusion Detection under Safeguarding Constraints," *Information Processing in Sensor Networks, IPSN 2005. Fourth International Symposium on*, pp. 189-194.
- M. Perkins, N. Correal and B. O'Dea. (2002), "Emergent Wireless Sensor Network kLimitations: A Plea for Advancement in Core Technologies," *Sensors*, 2002. Proceedings of IEEE, Vol.2, pp. 1505-1509.
- A.D. Costa and A.M. Sayeed (2003), "Data Versus Decision Fusion in Wireless Sensor Networks," *Proceedings of 2003 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '03)*, Vol.4, pp. 832-835.
- S. Patten, S. Poduri, and B. Krishnamachari (2003), "Energy-Quality Tradeoffs for Target Tracking in Wireless Sensor Networks," *2nd Workshop on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '03)*, pp. 32-46.
- J. Chou, D. Petrovic, and K. Ramchandran (2003), "A Distributed and Adaptive Signal Processing Approach to Reducing Energy Consumption in Sensor Network," *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE*, Vol.2, pp. 1054-1062.
- C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann and F. Silva (2003), "Directed diffusion for wireless sensor networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.11, No.1, pp. 2-16.
- W.R. Heinzelman, J. Kulik and H. Balakrishnan (1999), "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Proc. ACM Mobicom '99*, pp.174-185.
- K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi and G. J.Pottie (2000), "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Personal Communication*, Vol.7, No.5, pp. 16-27.
- W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan and H. Balakrishnan (2002), "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, Vol.1, No.4, pp. 660-670.
- A. Manjeshwar and D.P. Agrawal (2001), "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Parallel and Distributed Processing Symposium. Proceedings 15th International*, pp. 2009-2015.
- J. Zhand and H. Shi (2003), "Energy-efficient routing for 2D grid wireless sensor networks," *Information Technology: Research and Education, Proceedings, ITRE2003*, pp. 311-315.
- D. Nicholson (2004), "An automatic method for eliminating spurious data from sensor networks," *Target Tracking 2004: Algorithms and Applications*, IEEE, pp. 57-61.
- M. Gaynor, S.L. Moulton, M. Welsh, E. LaCombe, A. Rowan and J. Wynne (2004), "Integrating Wireless Sensor Networks with the Grid," *Internet Computing, IEEE*, Vol.8, No.4, pp. 32-39.
- G. Barrenechea, B. Bekerull-Lozano and M. Vetterli (2004), "Lattice sensor networks_capacity limits, optimal routing and robustness to failures," *Information Processing in Sensor Networks, 2004. IPSN 2004. Third International Symposium on*, pp. 186-195.
- H.Luo, F.Ye, J.Cheng, S.Lu and L.Zhang (2002), "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.
- G. Sharma and R. Mazumdar (2005), "Hybrid Sensor

Networks: A Small World,” In ACM MOBIHOC, pp. 366-377.
 20. C. Schurgers, V. Tsiatsis and M.B. Srivastava (2002),

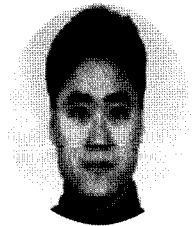
“STEM: Topology Management for Energy Efficient Sensor Networks,” Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE, Vol.3, pp. 1099-1108.



황 미 영 (rosaria@comp.ssu.ac.kr)

2003년 전북대학교 컴퓨터학과 졸업(학사)
 2005년~현재 송실대학교 컴퓨터학과 석사과정

관심분야 : 센서네트워크, 모바일 애드 혹 네트워크 등



박 상 준 (lub@archi.ssu.ac.kr)

1996년 동국대학교 전산학과 졸업 (학사)
 1998년 송실대학교 컴퓨터학과 졸업 (석사)
 2002년 송실대학교 컴퓨터학과 졸업 (박사)
 2002년~2003년 런던대 ISG 박사후과정
 2004년~현재 송실대학교 정보미디어기술연구소 전임연구교수

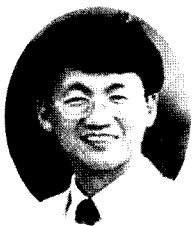
관심분야 : B3G 이동통신, 유비쿼터스 디지털방송, 멀티캐스트 프로토콜 등



길 아 라 (ara@comp.ssu.ac.kr)

1987년 이화여자대학교 전자계산학 졸업 (학사)
 1990년 한국과학기술원 전산학과 졸업 (석사)
 1997년 한국과학기술원 졸업 (박사)
 1995년~1997년 ㈜새롬기술 선임연구원
 2000년~현재 송실대학교 컴퓨터학부 조교수

관심분야 : Real-time Operating Systems, Real-time Communications, Multimedia Networking, Computer-Telephony Integration 등



김 병 기 (bgkim@comp.ssu.ac.kr)

1977년 서울대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 1979년 한국과학기술원 전산학과 졸업 (석사)
 1997년 한국과학기술원 전산학과 졸업 (박사)
 1979년 경북대학교 전자공학과 전임강사
 1982년~현재 송실대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : 유비쿼터스 디지털방송, HMIPv6, 멀티캐스트 프로토콜 등