# 센서 네트워크에서 낮은 오버헤드를 가진 라우팅 방법

김복순° 조기환, 이문근
전북대학교 전자정보공학부
{buskim°, ghcho}@dcs.chonbuk.ac.kr, moonkun@mail.chonbuk.ac.kr

# Routing method for Low overhead Sensor Network

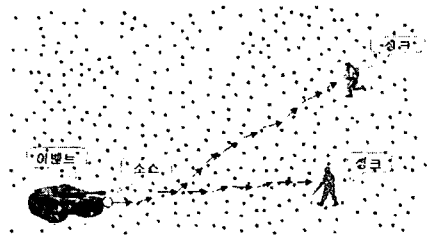
Bogsoon Kim° Gihwan Cho, Moonkun Lee
Div. of Electronics Information, Chonbuk National University

**요 약**

싱크의 이동성은 대규모 센서 네트워킹에 새로운 도전을 야기한다. 이동 싱크의 위치는 센서필드 전역에 걸쳐 전달되어야 하며, 이를 위해 각 센서노드는 새로운 정보를 갱신해야 한다. 그러나 빈번한 위치 갱신은 파워의 제약을 가진 센서에는 초과 에너지 낭비를 일으키고, 무선 통신의 충돌도 증가시킬 것이다. 이에 따라 본 논문은 다중 이동 싱크와 소스가 확장가능하면서 효율적으로 데이터를 전달하는 방법을 제안한다. 각 데이터 소스와 모바일 싱크가 적극적으로 싱크가 이벤트 정보를 획득 가능하도록 그리드 구조를 형성하고, 질의를 보내려는 하는 싱크도 로컬로 질의를 전송함으로써 그리드 형성에 적극 참여하였다. 본 제안 방법은 소스와 싱크가 중간 경유 노드에서 위치 정보를 교환함으로써 낮은 오버헤드로 경로 설정이 가능하게 하였다.

## 1. 서 론

최근 VLSI, 마이크로프로세서, 무선통신기술의 발전은 수천개의 센서가 미세한 센싱 데이터를 수집하는 대규모 센서 네트워크 구성이 가능하도록 하였다. 센서노드는 전형적으로 밧데리에 의하여 파워를 얻으며, 무선 채널을 통하여 통신할 수 있다.




[그림 1] 센서 네트워크 사용 환경

예를 들어, [그림 1]에서 군인들은 전쟁터에 설치된 센서 네트워크에서 탱크의 이동 정보를 수집한다. 탱크를 둘러싸고 있는 센서 노드는 이를 탐지하고, 데이터를 수집하기 위하여 서로 협력한다. 그리고 이들 중 한 노드가 데이터 리포트를 생성한다. 싱크의 이동성은 대규모 센서 네트워킹의 새로운 도전을 낳는다. 센서 네트워크를 위한 다양한 데이터 전달 프로토콜이 개발되었음에도 불구하고, 이들은 모두 각 모바일 싱크가 센서 필드 전역에 걸쳐 자신의 위치 정보를 지속적으로 전달하는 것이다. 이는 센서 노드가 향후 데이터 리포트를 전송할 방향을 결정하도록 한다. 그러나 다중 싱크의 빈번한 위치 정보 갱신은 무선 전송에서 충돌과 센서의 제한된 밧데리 공급의 소비를 야기한다[1].

따라서 본 논문은 잠정적인 다중 소스에서 다중 싱크가 있는 대규모 센서 네트워크에서 확장 가능하고 효율적인 라우팅 경로 설정 문제를 다룬다. 소스는 이벤트를 탐지하는 센서 노드로 정의되고, 이벤트를 알리기 위하여 데이터를 생성한다. 싱크는 센서 네트워크로부터 생성된 데이터를 수집하는 사용자로 정의하며, 이벤트 수와 싱크의 수는 시간에 따라 다양하다. 센서 필드의 소스가 데이터를 보내고, 싱크가 자신의 위치를 알리기 위하여 적극적으로 그리드 구조를 형성한다. 양방향에서 그리드 구조를 형성함으로써, 경로 설정 시간을 줄이고, 모든 센서 노드가 경로 설정에 참여하는 것을 막음으로써 에너지 손실과 오버헤드를 낮춘다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 센서 네트워크에서 데이터를 전달하기 위하여 지금까지 수행된 연구들을 살펴보고, 3장에서는 라우팅 경로 설정을 위한 제안 방법을 살펴본다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 고찰, 향후 과제를 제시한다.

## 2. 관련 연구

센서 네트워크에 관한 활발한 연구가 지금까지 진행되어 왔다. 먼저 SPIN[2]은 각 센서에 효율적으로 데이터를 전달하는 초기 연구로, 중복된 데이터 전달을 방지하기 위하여 메타데이터 협상 방식을 사용한다. 반면 DRP[3]와 Directed Diffusion[4]은 데이터-중심 경로 명명 기법을 사용하며, 좀더 많이 사용되는 경로에 가중치를 두어 데이터를 전달하고자 하였다. 이외에도 신뢰성이 낮은 센서 노드로 구성된 네트워크에 데이터를 전달하는 방법에 관한 연구와, 전체 네트워크에서 발생하는 오버헤드를 줄이기 위한 루머 라우팅 연구가 있었다. 그러나 이들은 모두 정지된 싱크에 데이터를 배달하는 연구였으며, 센서필드의 다중 소스와 다중 싱크에 대해서는 다루지 않았다. 이에 따라 본 논문은 싱크와 소스에 대한 위치에 대한 지식없이도 만나도록 하였고, 소스가 좀더 적극적으로 동작함으로써 경로를 설정하는 오버헤드 줄이는 연구를 하였다.

## 3. 라우팅 경로 설정 방법

본 논문의 가정은 첫째, 단거리 무선으로 통신하는 대규모 동일한 센서노드가 센서필드에 설치되어있으며, 장거리 통신은 다중 홉을 거쳐 이루어진다. 둘째, 각 센서는 자신의 위치를 알며, 모바일 싱크는 자신의 위치를 모른다. 셋째, 이벤트가 발생하면 이를 둘러싸고 있는 센서들이 신호를 처리하며, 이들 중 하나가 데이터를 알리기 위하여 소스가 된다. 싱크는 센싱 데이터를 수집하기 위하여 네트워크에 질의를 보낸다. 센서필드 주위를 움직이는 다중 싱크가 존재 가능하며, 싱크의 수는 시간에 따라 다양하다. 센서노드는 자신의 미션을 알고 있으며, 각 미션은 센서 네트워크의 태스크를 나타낸다. 시나리오에 따라 미션은 변동가능하며, 새로운 미션은 소스 노드에 전달되기 위하여 전체에 플로딩된다. 본 논문은 센서의 미션은 다루지 않으며, 미션 전송에 대한 오버헤드는 센싱 데이터 전송 오버헤드보다 작으므로 무시할 수 없다.

다중 소스와 다중 싱크 문제를 다루는 본 논문은 데이터 전송 경로 설정을 위하여, 각 싱크가 모든 소스에 대

하여 질의 메시지를 전송하는 대신, 그리드 구조를 형성하여 그리드 포인트에 위치한 노드만이 전송 정보를 얻도록 한다. 또한 이벤트를 탐지한 소스도 수동적으로 싱크를 기다리는 대신, 데이터 소스가 적극적으로 전체 센서 필드에 걸쳐 전달되도록 그리드 구조를 형성하고 그리드 포인트와 가장 가까이 위치한 센서 노드에 정보를 전송한다. 이들 전송 노드를 배포노드(DN: Dissemination Node)라 한다.

### 3.1 그리드 구조와 경로 생성

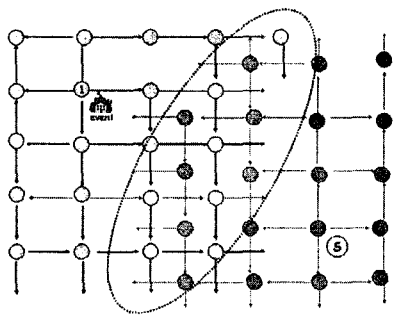
2차원 센서 필드를 한 변의 길이가 α인 셀 단위로 나눈다. 소스는 그리드의 한 격자점에 위치하고, 그리드의 배포점($L_p$)에 도달하도록 데이터 알림 메시지를 보낸다. 소는 특정 위치에서 α를 이용하여 4개의 $L_p$를 계산한다. 반면 싱크는 자신의 위치와 질의를 주변 노드에게 알리고, 메시지를 받은 노드가 α를 이용하여 $L_p$를 계산한다. 소스와 싱크는 단순한 지리적 그리드 전송법을 사용하여 배포점에 대한 메시지를 반복적으로 전송하며, 배포점과 가까이 위치한 노드가 전송 노드(DN)로 선정된다. 각 DN 은 그리드 구조에 대한 알림 메시지와 배포점 위치만을 저장한다. 또한 메시지를 전송받은 나머지 배포점에만 메시지를 재전송하며, 중복 수신한 메시지는 일변 번호로 식별하여 단순히 삭제한다. [표 1]은 소스와 싱크가 그리드를 형성하과 경로를 설정하는 알고리즘이다.

```
Procedure Construct_Grid_and_Path( )
 begin
   set Lso(x,y), Lsi(m,n)
    /* 이벤트를 탐지한 소스와 질의를 요청하는
       싱크의 위치 */

      for i:=1 to N do /* i=±1, ±2, ... */
         Lso_p=(xi, yi)
              xi=x±i·α
              yi=y±i·α
         Select(DN of Lso_p)

         local_flooding(Lsi=(mi,ni))
         Lsi_p=(mi,ni)
              mi=n±i·α
              nj=n±j·α
         Select(DN of Lsi_p)

      check neighbors of Lso_p, Lsi_p

      if (Lso_p(xi,yi)∈Lsi_p(mi,ni) ||
        Lsi_p(mi,ni)∈Lso_p(xi,yi))
          exchange(∑Lso_p(xi,yi), ∑Lso_p(mi,nj))

      Establish path for source and sink with
      location information of Lp

 end
```

[표 1] 그리드 형성과 경로 설정 과정 알고리즘

본 논문은 센서 필드의 어떤 노드도 전체 토폴로지에 대한 지식이 필요하지 않으며, 각 노드는 로컬 이웃 정보에 의해서만 동작한다. 배포점은 DN을 선택하기 위한 참조 포인트 역할을 하며, DN은 가능하면 배포점과 가까이 있는 노드로 선택한다[그림 2].

노드 선택 과정 중, 이들 DN은 서로 근거리에 위치하게 될 것이고, [그림 2]와 같이 겹치는 격자를 형성하게 될 것이다. 싱크와 소스의 메시지가 그리드를 순회할 때, 라우팅 경로를 설정하기 위하여 Lp의 각 DN은 일정시간 동안 소스와 싱크의 경로 정보를 저장한다. 그리고 DN에서 α/2안에 소스 또는 싱크의 DN이 존재하는지 확인한다. DN이 확인되면 각각에 대한 위치정보를 교환한다. [그림 4]는 위치 정보를 교환 후 설정된 라우팅 경로이다. α간격으로 DN이 위치한 반면, 소스와 싱크의 겹치는 부분의 DN의 위치는 $0 \le L_{DN} \le \alpha/2$이다.

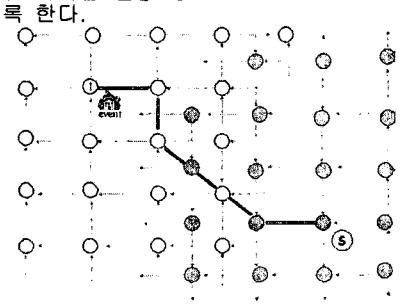


[그림 2] 그리드 구조가 겹치는 영역 형성

### 3.2. 질의와 데이터 전송

본 논문의 질의와 데이터 전송은 확장성과 효율성을 보장하기 위하여 가상 그리드 구조를 기반으로 한다. 싱크가 데이터를 필요로 할 때, DN을 선정하여 주변에 질의 메시지를 플루딩한다. 싱크는 질의 메시지에 최대 거리를 명시함으로써, 일정한 위치의 노드에서 플루딩이 멈추도록 한다. 일단 질의가 DN이 될 노드에 도착하면, 이는 싱크의 직접 DN(IDN: Immediate DN)이되고, 소스를 찾아서 그리드 구조를 형성한다. 이 과정 중 각 DN은 질의 내용(싱크와 이웃 DN 위치)을 저장한다. 이러한 상태 정보는 나중에 싱크에 데이터를 직접 전달하기 위하여 사용된다. 적절한 그리드 구조에서 질의 플루딩은 일정한 지역으로 한정될 수 있다. 이는 전체 네트워크에 걸쳐 메시지를 플루딩하는 것에 비하여 에너지와 대역폭을 절약한다.

이웃 DN으로부터 소스를 요청하는 질의를 받으면, DN은 데이터를 전송한다. 이때 DN은 경로 정보를 알므로, 데이터는 쉽게 싱크의 IDN까지 도달할 것이다. 만약 DN이 여러 개의 다른 DN으로부터 질의를 받았다면, 이들 중 하나만 전송한다. 일단 데이터가 싱크의 IDN에 도착하면 직접 전달하거나, 셀 영역에서 지속적으로 움직이고 있는 싱크에 대하여 전송하기 위하여 로컬 플루딩을 할 것이다. 이러한 전송 방법은 오버헤드가 낮은 경로를 설정하도록 한다.



[그림 3] 라우팅 경로 설정

### 3.3 그리드 구조 관리

불명확하게 DN이 그리드 상태를 유지하는 것을 피하기 위하여, 소스와 싱크는 그리드를 구축할 때 전송 메시지에 그리드 라이프타임 정보를 포함한다. 라이프타임이 만료하고, 그리드의 DN이 더 이상 데이터와 질의에 대한 업데이트 정보를 받지 않는다면, DN은 상태 정보를 지우고, 그리드를 제거한다. 적절한 그리드 라이프타임 값은 소스와 싱크의 메시지와 센서 네트워크 미션에 따라 다르다. [그림1]에서 소스는 탱크가 머물 시간을 예측하고, 그리드의 라이프타임 값을 이들 측정치에 사용한다. 라우팅 경로 설정 중 싱크와 소스의 메시지가 그리드를 순회할 때, 라우팅 경로를 설정하기 위하여 Lp의 DN은 일정시간동안 소스와 싱크의 경로 정보를 유지한다. 만약 탱크가 예측치보다 더 오래 머물면, 소스는 신규 데이터 알림 메시지를 전송함으로써 그리드 라이프타임을 연장할 수 있다.

또한 특정 환경에서, 갑작스러운 노드 실패를 다루는 것은 매우 중요하다. 노드의 부족한 에너지를 보존하기 위하여 센서노드는 정기적으로 라이프타임을 갱신하지 않는다. 그러나 이웃 센서노드에 DN의 내용을 복사함으로써, DN이 실패하더라도 신규 채용된 이웃 DN에 데이터가 도달하게 함으로써 메시지가 지속적으로 전달 될 수 있도록 한다. 이러한 메커니즘은 동시에 다중 DN이 실패하는 경우 매우 유용하다. 싱크의 IDN 실패도 IDN의 타임아웃으로 식별한다. 싱크가 특정 기간 데이터를 수신하지 못한다면, IDN이 실패하였다고 생각하고, 새로운 IDN을 선택하기 위하여 로컬 플루딩을 다시 실행한다.

## 4. 오버헤드 분석

본 장에서는 제안 방법의 효율성을 분석하기 위해 통신과 상태 오버헤드를 측정한다. 분석을 위해 소스 또는 싱크 지향의 경로 설정 방법과 비교하였다. 센서노드 $N$ 개는 한 변이 $\sqrt{N}$이 되도록 네트워크에 균일하게 설치되어 있다. [표 2]는 분석을 위한 오버헤드 파라미터이다.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 센서필드 영역 | $A$ | 센서노드 | $N$ |
| 싱크 수 | $k$ | 일반항 | $n$ |
| 데이터 패킷 | $d$ | 셀 사이즈 | $\alpha$ |
| 셀 하나당 노드 수 | $\frac{N\alpha^2}{A}$ | 소스의 수 | $s$ |
| 통신 오버헤드 | $CO$ | 상태 복잡도 | $ST$ |
| 소스와 싱크의 겹치는 셀 수 | $x$ | 질의, 알림 메시지 오버헤드 | $l$ |

[표 2] 오버헤드 수식 파라미터

### 4.1 통신 오버헤드

제안방법의 통신 오버헤드를 계산하면 다음과 같다. 싱크가 위치 정보를 갱신하기 위하여 로컬 플루딩하고, 소스와 싱크의 DN은 이웃 DN을 찾아가므로, 대각선에 위치하는 DN을 경유할 때 오버헤드는[표 3]과 같다.

① 소스 알림과 싱크 질의 전달 오버헤드:
$2^2nl+ml$
② 그리드 형성과 경로 설정 오버헤드:
$2^2nl+ml+\sqrt{2}xl$
③ 데이터 전달 오버헤드(소스→싱크:)
$(2^2n+\sqrt{2}x)d$
④ 그리드 형성 오버헤드: $4Nl/\sqrt{n}$
⑤ **k개의 모바일 싱크가 데이터를 수신하는 전체 오버헤드:**
$k\{(2^2n+m+\sqrt{2}x)l+(2^2n+\sqrt{2}x)d\}+4Nl/\sqrt{n}$

[표 3] 제안방법의 통신 오버헤드

① 이벤트 또는 질의를 전체 플루딩: $Nl+c\sqrt{Nd}$
② **k개의 싱크에 대한 전체 오버헤드:** $kNL+kc\sqrt{Nd}$

[표 4] 일반적인 경로 설정 방법의 오버헤드 계산

[표 3]의 ②는 [그림 3]에서 $L_{so_p}$와 $L_{si_p}$가 겹치는 영역의 DN 위치는 기본 셀 크기보다 작으므로 DN을 연결하면 직선이 형성되며, 이때 $x$는 DN이 대각선을 형성하는 셀 숫자이다. [표 4]는 기존의 소스 또는 싱크 지향 오버헤드를 나타낸다($0\le c\le\sqrt{2}$). [표 3,4]의 전체 오버헤드 비율은 [표 5]와 같이 계산한다.

$$\frac{CO_{\text{제안방법}}}{CO_{\text{일반방법}}}=\frac{k\{(2^2nl+m+\sqrt{2}x)l+(2^2n+\sqrt{2}x)d\}+4Nl/\sqrt{n}}{KNl+kc\sqrt{Nd}}$$

[표 5] 제안방법 vs.일반방법의 오버헤드 비율

예를 들어, 전체 노드의 수 $N=10,000$, 각 셀에 설치된 노드 수 $m=100$이다. 이때 $c=1, l=1, d=100$이라고 가정하면 $\frac{OH_{\text{제안방법}}}{OH_{\text{일반방법}}}=\frac{k\{2^2n+100+\sqrt{2}x+(2^2n+\sqrt{2}x)\times100\}+4n\times10}{(10,000+100\times100)k}$ 이다.

이때 $n, x \ll N$이므로, $k\to\infty$이고, $N$이 커질수록 제안 방법의 오버헤드는 작아진다. 싱크가 정지된 경우에도 통신 오버헤드는 낮아진다.

### 4.2 상태도 분석

본 논문에서 단지 DN과 이웃 노드만이 소스와 싱크 정보를 가지므로, 다른 노드는 어떤 상태도 유지할 필요가 없다. [표 6]에서 상태 복잡도를 분석하였다.

*** 제안 방법의 상태 복잡도**
① 전체 DN의 상태 정보: $\sqrt{N/m}^2$
② IDN: 셀 영역안의 싱크와 이웃 DN 정보 관리
③ 전체 상태 복잡도: $(k+s)b\sqrt{N/m}^2$
/* k: 싱크 수, s: 소스 수,
b: DN주위 센서노드 수 */
*** 일반 방법의 상태 복잡도**
$N\times s$ or $N\times k$ /*k: 싱크 수, s: 소스 수 */

[표 6] 제안 방법의 상태 복잡도

$$\frac{ST_{\text{제안방법}}}{ST_{\text{일반방법}}}=\frac{(k+s)b\sqrt{N/m}^2}{Nk(Ns)}$$

[표 8] 제안방법 vs.일반방법의 상태 복잡도

[표 5]에서 $s=3, k=3, b=5, N=10000, m=100$으로 가정하면 단지 일반 방법의 10%의 상태 정보를 유지한다. 이는 제안 방법의 센서노드는 DN이외의 정보를 유지하기 않기 때문이다.

## 5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 싱크가 움직이고 있는 대규모 센서 네트워크에 효율적으로 데이터를 전달하는 방법을 연구하였다. 소스가 싱크로부터 질의가 오기를 수동적으로 기다리는 대신, 효율적으로 그리드 구조를 형성하고 관리함으로써 좀더 탐지한 이벤트 정보를 적극적으로 전달하도록 하였다. 또한 각 싱크의 질의를 로컬로 제한함으로써, 센서필드 전체에 발생하는 오버헤드와 충돌을 줄였고, 중간 경유 노드로부터 소스에 대한 경로 정보를 획득함으로써 효율적으로 경로 설정이 좀더 빠르게 이루어지도록 하였다. 본 연구는 소스 또는 싱크 지향의 경로 설정보다 통신 오버헤드와 상태 복잡도 측면에서 효율적이며, 싱크 수가 증가 할수록 오버헤드 감소가 커짐을 분석을 통해 확인하였다. 향후 연구 과제로는 셀 크기 변화, 이벤트가 움직이는 경우 소스가 이벤트 정보를 싱크에게 전달하는 법, 균등하지 않는 센서 필드, 모바일 센서 노드 등에 대한 연구가 진행되어야 한다.

## [참고 문헌]


[1] F. Ye, et al, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Network," *Proceeding of the 8th annual international conference on Mobile Computing and Networking, Atlanta, Georgia, USA,* pp.148-159, 2002.
[2] W. Heinzelman, et al, " Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Network," *ACM International Conference on Mobile Computing and Networking(MOBICOM'99),* 1999.
[3] D. Coffin, "Declarative ad-hoc sensor networking," *SPIE Integrated Command Environments,* 2000.
[4] C. Intanagonwiwat,et al "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Network," *ACM International Conference on Mobile Computing and Networking(MOBICOM'00),* 2000.
[5] F. Ye, et al, " GRAdient Broadcast: A Robust, Long-lived Large Sensor Network," http://irl.cs.ucla.edu/papers/grab-tech-report.ps, 2001