하이브리드 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 모바일 센서 배치

김연준° 인호
고려대학교 컴퓨터정보통신대학원
yjunkim@kisdi.re.kr, hoh_in@korea.ac.kr

Energy-aware deploy method for mobile sensors in hybrid sensor network

Yon-jun Kim°, Hoh Peter
Graduate school of Computer & Information Technology, Korea University

요 약

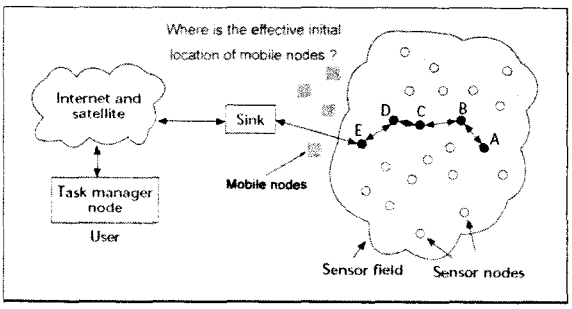
하이브리드 센서 네트워크에서 static sensor node들이 초기 배치된 후, coverage-hole을 결정하여, hole을 커버할 mobile sensor node들의 필요한 수 및 위치를 결정하고 배치하는 연구는 상당한 수준에 이르렀다. 그러나 mobile sensor node들을 호출하고 배치하는데 너무 많은 에너지를 소모하고 있다. 본 논문에서는 coverage-hole에서 mobile sensor node들을 호출하기 전에 mobile sensor node들을 최대한 coverage-hole에 가깝게 배치하여, 호출하는데 소요되는 에너지를 획기적으로 절감하였다.

1. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅에 대한 수많은 연구가 진행되어 왔고, 또한 무선 센서 네트워크에 대한 연구가 상당한 수준에 이르렀다. 무선 센서 네크워크에 대한 연구 분야는 센서 노드의 배치, 라우팅 프로토콜, localization, 센서 management, 에너지 절감 등에서 이루어지고 있다.

Hybrid sensor netwrok에서 초기 static sensor node들이 배치되고, coverage에 포함되지 않는 영역을 커버하기 위하여 coverage-hole을 결정하고, coverage-hole 영역에 배치될 mobile sensor node들의 수 및 위치를 구하는 연구들은 상당수 진행되어 왔다[2]. 그러나, 기존 연구에서는 coverage-hole에서 mobile sensor들을 호출하는데 너무 많은 에너지를 소모하고 있다. 센서노드들 간에 전송에너지는 다른 에너지에 비해 비중이 크다[1]. static sensor node는 비교적 장기간의 센싱 및 전송의 특성으로 인하여 최대한 에너지를 보존하도록 작동되어져야 한다. 호출되는 mobile sensor node 들의 초기 위치가 정해져 있지 않아서 static sensor node들이 mobile sensor node들을 호출할 때 에너지 소모가 심하다. 따라서, 호출되기 전 mobile sensor node들의 초기 위치가 적절히 주어져서, 호출 과정 중에 호출 메시지 전파되는 홉수를 줄여서 전송에너지를 손실을 절감해야 한다.(그림 1)

본 논문의 구성은 2장에서는 관련 연구들에 대하여 언급하고, 3장에서는 개선된 에너지 효율적인 mobile sensor node를 호출하는 방법에 대하여 논하고, 4장에서는 simulation에 대하여 논하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.



(그림 1) 모바일 센서 노드의 초기 위치

2. 관련 연구

무선 센선 네트워크의 네트워크 계층 중에 어플리케이션 레벨에는 SMP(Sensor Management Protocol), TADAP(Task Assignment and Data Advertisement Protocol), SQDDP(Sensor Query and Data Dissemination Protocol) 등이 있다. 이중 SMP프로토콜은 위치를 찾는 알고리즘에 관련된 데이터 교환, 센서 노드들의 클러스터링 및 센서들의 이동에 관련된 프로토콜이다[1]. mobile sensor node를 static sensor node를 이용하여 센싱이 불가한 지역으로 배치하는 작업은 어플리케이션 레벨의 작동이라 할 수 있다.

Coverage-hole은 무선 센서 네트워크에서 static sensor node들이 배치되지 못한 지역으로서 센싱이 불

가한 영역을 의미한다[2].

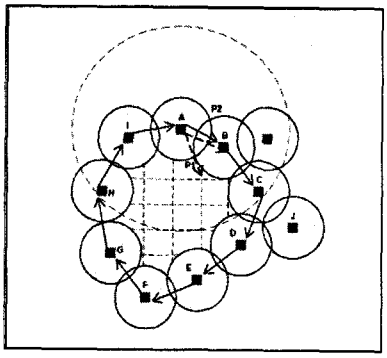
센서필드로 mobile sensor를 파견하는 방법에는 여러 가지가 있다. 센서들 간 가장 긴 거리를 우선으로 하여, under-covered된 영역을 결정하고, active roaming하는 mobile sensor들을 호출하는 방법이 제안되었다[3].

모바일 agent들이 처리센터에서 센서 필드로 파견되어서, 데이터를 로컬에서 처리하는 방안이 제안되었다[4]. 이는 모바일 agent를 센서필드로 파견함으로써 지연율, 대역폭 문제, 그리고 네트워크 단절에 의한 취약성을 줄였다.

밀집하지 않게 배치된 센서 네트워크에 클러스터 구축 알고리즘이 도입되었다[5]. 클러스터 내의 coverage-hole을 채우는데 최소의 mobile 센서가 사용된다. hole을 가로지르는 확장성 있고 신뢰성 있는 클러스터 구축 알고리즘이 제안되었다. 제안된 mobile sensor 배치 알고리즘은 커버리지 영역을 채우고, 센싱 능력을 강화하였다.

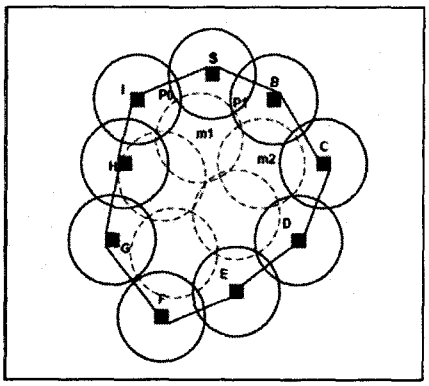
static sensor node들 끼리 클러스터를 형성하여 센서 네트워크의 생명을 길게 하는 방법이 제안되었다[6]. 클러스터 기반의 센서 네트워크에서 단지 에너지만이 클러스터 헤드를 선정하는 데 주요 요인으로 작용되는 것만은 아니다. CBR-List를 유지하여, 4단계 상태(Setup, Steady-state, Option, Select new cluster head)를 계속 진행하면서, 조건에 맞는 새로운 클러스터 헤드를 선정하여 Sink와 통신 및 로컬 연산을 담당한다. 그러나 클러스터 헤드가 일반 static sensor와 동일하기 때문에 일반적인 전송범위를 고려하고, 집중된 연산으로 인하여 센서의 에너지지가 빨리 고갈 된다.

coverage-hole에 mobile sensor node를 배치하는데, coverage-hole을 결정하고, mobile sensor node들의 숫자와 배치될 위치를 구하고, coverage-hole에서 mobile sensor들을 호출하는 방법이 제안되었다[2]. coverage-hole을 결정하기 위하여 starting node를 결정하고, discovery-message를 static sensor node들에게 전파한다. (그림 2)



(그림 2) coverage-hole 결정

coverage-hole을 결정하기 위한 노드들간에 전송되는 discovery-message는 node-list, reference point, rotation direction, max-hop, intersection points로 이루어진다. coverage-hole을 커버할 최소의 mobile sensor이 개수 및 위치는 정수선형계획법, Spiral-In algorithm 그리고 Geometry algorithm에 의하여 결정된다. 그리고 mobile sensor node를 호출하는 메시지에 의하여 mobile sensor node들이 coverage-hole에 배치 된다. (그림 3)



(그림 3) mobile sensor 배치

call-message는 starting node, sequence, max-hop, limit-increased로 구성되는데, max-hop은 수신된 ACK 메시지의 수에 따라 가변적이다.

지금까지 살펴 본 논문들은 Sink에서 센서필드로 mobile node를 파견하거나, static node들 중에서 클러스터 헤드를 선정하여 대표로 전송 역할을 담당하게 했다. 센서필드에 mobile sensor들이 무작위로 분포되어 있거나, 센서필드 밖에서 대기하는 상태에서, 호출 메시지가 센서필드를 수없이 오가야 한다면 전송에너지 낭비로 인하여 static 센서의 수명이 짧아질 수밖에 없다. 그러므로 mobile sensor를 호출하는 전송을 최대한 줄여야 한다. 3장에서는 전송메시를 줄이는 방법에 대하여 언급한다.

3. 에너지 효율적인 모바일 센서 배치

Mobile sensor node 및 Sink는 static sensor node에 비해 에너지 제약이 적고, 컴퓨팅 능력이 훨씬 뛰어나다. static sensor node들의 위치는 이미 결정되어 있는 것으로 가정한다. Sink는 초기 배치 후 static sensor node들의 localization 과정에서 static sensor node들의 위치를 파악할 수 있다[7]. sensor node들의 위치를 파악하는 것은 본 논문에서는 다루지 않는다.

이 장에서 언급할 사항에 대하여 정리하면 다음과 같다. static sensor node들의 위치정보를 바탕으로 Sink (또는 계산 능력이 훨씬 뛰어난 다른 컴퓨터)가

coverage-hole을 채우기 위한 센서들의 숫자와 위치를 계산한 후 mobile sensor node 들을 미리 위치시킨다. 센서필드에서도 coverage-hole을 결정하고, 필요한 mobile sensor node의 숫자와 위치를 파악한 후 call-message를 전파한다. call-message는 mobile sensor node에 도달하면 더 이상 전파되지 않는다. mobile sensor node는 응답 메시지를 이미 설정된 경로(call-message가 전파되어온 경로)를 통해 보낸다. mobile agent는 최종 위치에 안착한다.

3.1 coverage-hole, mobile sensor의 수 및 위치 결정

coverage-hole을 결정하기 위하여, 먼저 센서필드를 격자로 나누고, starting node을 선정한 후, sensing range 및 transmission range를 고려한 coverage-hole을 결정한다. 그리고 Geometry 알고리즘을 이용하여 mobile sensor node의 숫자와 위치를 결정한다.

Sink는 static sensor node에 비해 계산 능력이 뛰어나다. 따라서 비교적 computation power를 많이 필요한 정수계획법 등 많은 계산 성능을 요구하고 정교한 알고리즘을 사용하여 mobile sensor node들의 숫자와 위치를 결정하는 것이 바람직하지만, 본 논문의 초점은 mobile sensor node를 coverage-hole에 미리 위치시키는 것에 있으므로 비교적 구현이 간단한 Geometry 알고리즘을 사용한다. 향후 연구에서는 정수 계획법 및 선형 계획법을 사용할 예정이다.

3.2 coverage-hole 결정

Starting node를 선정한 후 Discover-message를 이웃 노드에게 전파한다. starting node를 선정하기 위한 조건은 다음과 같다[2].

- ◆ y좌표가 가장 높은 노드
- ◆ y좌표가 local maximum일 경우는 1개 이상의 starting node가 존재할 수 있음
- ◆ 다른 노드로부터 Discover-message를 받으면, 그 노드는 더 이상 starting node가 아님

Discover-message는 [표 1]과 같이 구성 되어 있다.

[표 1] Discovery메시지 구조

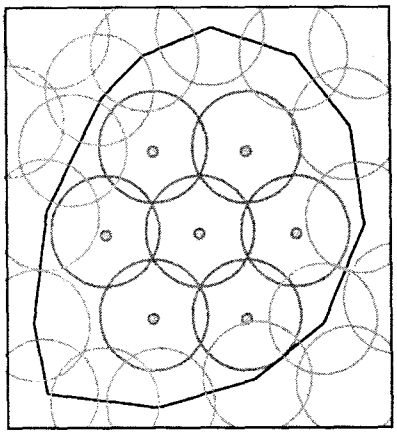
항목	설명
node-list	경계노드들의 목록
reference point	이웃 노드와 기준점
rotation direction	회전 방향
max-hop	최대 홉수
intersection point1	이웃 노드와 교점1
intersection point2	이웃 노드와 교점2

3.3 Geometry 알고리즘

정육각형(Hexagon)을 이용하여 coverage-hole에 채우는 방법에 의하여 필요한 mobile sensor node의 수와 위치를 파악할 수 있다. hexagon구조는 2D평면을 공간낭비를 최소하면서 채울 수 있다[8].

3.3.1알고리즘

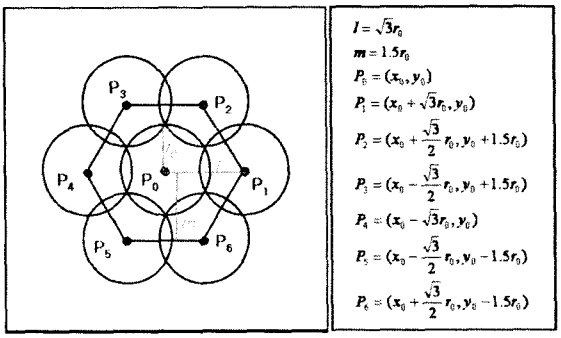
Geometry 알고리즘은 처음 mobile sensor node의 위치를 알면, 나머지 mobile sensor node의 위치는 hexagon배치 방법에 의하여 알 수 있고, 최종적으로 숫자도 알 수 있다. coverage-hole의 중심에 첫 번째 mobile sensor node를 위치시킨다. coverage-hole내의 모든 경계점들이 mobile sensor node들에 의하여 커버될 때 까지 hexagon배치 방법에 의하여 mobile sensor node를 계속 배치한다[2]. (그림 4)



(그림 4) Geometry coverage

3.3.2 Hexagon구조와 주변 노드들의 위치

mobile sensor의 커버리지 반경을 r_0, 중심위치를 $P_0(x_0,y_0)$라 한다면, P_0주위의 6개의 점들은 (그림 5)처럼 표현될 수 있다.



(그림 5) Hexagon구조와 주변 노드들의 좌표

3.3.3 경계조건

hexagon구조에 의해 mobile sensor node들을 채워 나가다 보면 coverage-hole의 경계에 이르게 된다. 이 때 다음 경계 조건을 이용하여 mobile sensor node를 배치한다.

- ◆ Y좌표를 증감시키면서 좌우측으로 mobile sensor node들을 채워 나간다.
- ◆ Y축 방향으로 $m=1.5r_0$씩 증감하면서 채워나간다.
- ◆ X축 방향으로 $l=\sqrt{3}r_0$씩 증감하면서 채워나간다.
- ◆ 현재 배치되는 y좌표에서 경계점들이 모두 포함되도록 채운다.
- ◆ node-list를 활용한다.
  - ▶ X축과 평행하게 mobile sensor node들을 채워 나가다가 경계에 이르면 node-list에 속한 노드들의 좌표들이 포함될 수 있도록 경계조건을 설정한다.
  - ▶ Y좌표가 증감 되면서 경계에 이르렀을 때는 근처 경계점들이 mobile sensor node의 커버리지에 포함 되도록 경계조건을 설정한다.

위 알고리즘을 Pseudo코드로 나타내면 (그림 6)과 같다

```
while(!bDone) {
 //y축 방향으로 배치 종료인지 검사
 if(!isDoneYdirction(yDirection)) {
  //x축 방향으로 배치 종료인지 검사
  if(!isComplete(ypos)) {
   //경계 조건 고려하여 배치할 수 있는지 검사
   if(can_create_mobile_node(xDirection,yDirection)) {
    //위치 생성
    create_next_mobile_node_point(ypos, xDirection,yDirection);
    mobile_node_list[mobile_count++]=currentPoint;
   } else {
    //반대쪽으로 전환
    xDirection=toggle_direction(xDirection);
    //초기 좌표
    xpos = xpos0;
   }
  } else {
   increaseYpos();
  }
 } else {
  //coverage-hole이 모두 커버 되었는가 판단
  bDone=isAllAreaCovered();
  //반대쪽으로 전환
  yDirection = toggle_direction(yDirection);
  ypos = ypos0; //초기 y좌표
 }
}
```

그림 6 경계조건을 고려하여 배치하는 알고리즘

3.4 Mobile Sensor node이 이동

coverage-hole에 배치될 mobile sensor node의 수와 위치가 결정되면, 정보가 Sink에서 mobile sensor node로 전달되고, mobile sensor node들은 각 coverage-hole로 이동하게 된다. 이때 mobile sensor node는 다음과 같은 정보를 포함하게 된다.

- ◆ 고유 id
- ◆ 노드가 mobile 인지 static 인지 구분하는 구분자
- ◆ mobile sensor group id
- ◆ 목적 위치(starting node of coverage-hole)
- ◆ 같은 group id를 가진 mobile sensor의 수

3.5 Coverage-hole의 호출 메시지

mobile sensor node가 각 coverage-hole로 도착한 후 coverage-hole에서는 call-message를 전파하며, message 구조는 [표 2]와 같다.

[표 2] Call메시지 구성

항목	설명
sequence	call-message 순서
Coverage hole 위치	coverage-hole 처음 노드
mobile node agent 수	필요한 노드 수
max-hop	전파 가능한 홉수
path	지나온 경로

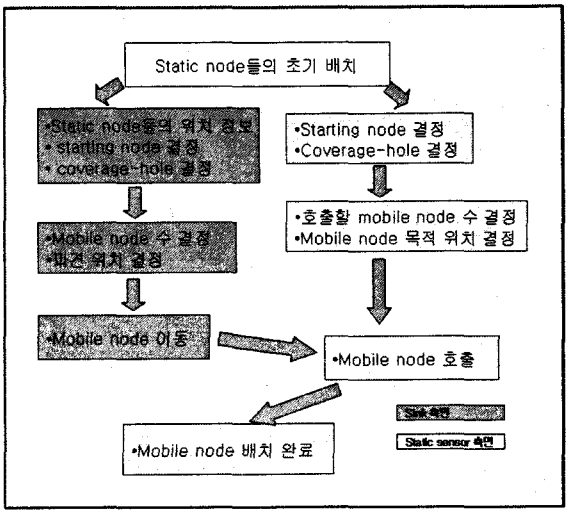
3.6 Mobile sensor node의 응답 메시지

mobile sensor node는 call-message를 수신하면 응답 메시지를 전송하게 되는데 구조는 다음과 같다.

- ◆ 시퀀스
- ◆ mobile sensor node의 ID
- ◆ Call-message가 지나온 hop수

3.7 Mobile sensor node배치 블록다이어 그램

지금까지 static sensor node들의 초기 배치에서 mobile sensro node들의 배치에 이르기까지의 과정을 정리해보면 (그림 7)과 같다.



(그림 7) Mobile sensor node 배치 다이어그램

4. 성능 평가

본 장에서는 성능평가 방법을 제시하고 차기에 시뮬레이션 및 검증을 할 예정이다.

성능평가는 기존 방법으로 mobile sensor node를 배치하는 방법과 제안된 방법으로 호출/배치하는 방법을 비교한다. 비교할 대상은 두 가지 방법으로 시뮬레이션을 할 때 각각 소요되는 에너지를 비교한다. 그런데, 이는 직접적으로 에너지 소모량을 비교할 필요 없이 간단하게 mobile sensor node를 호출/배치하는데 소요된 평균 hop/node값을 비교해도 비교의 의미를 갖는다.

시뮬레이션은 TinyOS 시뮬레이터인 TOSSIM에서 시행할 예정이며 절차는 다음과 같다.

- ◆ Static sensor node 수량 결정
- ◆ Static sensor node위치 무작위 결정
- ◆ Sensor field에서 coverage-hole 결정
- ◆ 필요한 mobile node수 결정
- ◆ Sink에서 coverage-hole 결정
- ◆ 위치 및 수량 결정
- ◆ Sink에서 mobile sensor 파견
- ◆ Mobile sensor node호출 메커니즘에 따라 필요한 수량의 mobile sensor node들이 모두 응답할 때까지의 hop-count(HC1) 구함
- ◆ 무작위로 배치된 mobile sensor들의 위치를 구함
- ◆ Mobile sensor node호출 메커니즘에 따라 필요한 수량의 mobile sensor node들이 모두 응답할 때까지의 hop-count(HC2) 구함
- ◆ HC1 와 HC2의 비교

HC1 방법은 coverage-hole의 starting node들로부터 1hop에 위치하므로, 소요되는 에너지(E_{HC1})는 필요한 mobile node의 수를 N이라 하면 다음과 같다.

$$E_{HC1} = 2N\ hop \quad (1)$$

HC2 방법은 각 mobile sensor node들이 starting node로부터, m hop 떨어져 있다고 한다면, 각 mobile node를 호출하는 데 소요되는 최소한의 에너지는 $2mhop$이고, 전체적으로 소요되는 에너지(E_{HC2})는 다음과 같다.

$$E_{HC2} = 2\sum_{i=1}^{N} m_i\ hops \quad \because (m \geq 1, \text{정수}) \quad (2)$$

따라서 절감된 에너지는

$$\Delta E_{HC} = 2\sum_{i=1}^{N} m_i - 2N \geq 0 \quad (3)$$

이고, mobile node들이 uniform하게 무작위로 분포한다면, 에너지 절감 효과는 더욱 크다는 것을 보여 준다.

5. 결론

제안된 방법은 static sensor node들에 비하여 상대적으로 연산 능력이 뛰어난 Sink가 센서 네트워크가 초기 배치될 때 얻어진 static sensor node들의 위치 정보를 바탕으로 coverage-hole을 결정하고, 이 영역을 커버할 mobile sensor node들의 숫자와 위치를 계산한 뒤 static sensor node들이 mobile sensor들을 호출하기 전에 미리 coverage-hole 근처에 위치한다.

호출 메시지가 전파되는 hop수를 획기적으로 줄임으로써, 기존에 제안된 방법들보다 신속하고, 에너지 효율적으로 coverage-hole에 mobile sensor node들을 배치할 것이다.

향후 과제는 TinyOS 기반에서 직접 시뮬레이션을 하여 검증을 할 예정이며, 차후에는 mobile sensor node의 능력을 확대하여 mobile sensor들을 배치한 후 clustering 기법을 이용하여 센서 네트워크를 최적화하는 것에 대하여 연구할 계획이다.

참고 문헌

[1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, "A survey on sensor networks", IEEE Communication Magazine August 2002

[2] Ming Zhang; Xiaojiang Du; Nygard, K., "Improving Coverage Performance in Sensor Networks by using Mobile Sensors", Military Communications Conference, 2005. MILCOM 2005. IEEE, 17-20 Oct. 2005 Page(s):1-7

[3] Du X., Lin F., "Improving sensor network performance by deploying mobile sensors", Performance, Computing, and Communications Conference, 2005. IPCCC 2005. 24th IEEE International, 7-9 April 2005 Page(s):67-71

[4] Ketel M., Dogan N.S., Homaifar A., "Distributed sensor networks based on mobile agents paradigm", System Theory, 2005. SSST '05. Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium on 20-22 March 2005 Page(s):411-414

[5] Xiaoning Shan, Jindong Tan, "Mobile sensor deployment for a dynamic cluster-based target tracking sensor network", Intelligent Robots and Systems, 2005. (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on 2-6 Aug. 2005 Page(s):1452-1457

[6] Tillapart P., Thumthawatworn T., Pakdeepinit P., Yeophantong T., Charoenvikrom S., Daengdej J., "Method for cluster heads selection in wireless sensor networks", Aerospace Conference, 2004. Proceedings. 2004 IEEE, Volume 6, 6-13 March 2004 Page(s):3615-3623 Vol.6

[7] Shenoy, S.; Jindong Tan, "Simultaneous Localization and Mobile Robot Navigation in a Hybrid Sensor Network" , Intelligent Robots and Systems, 2005 IEEE/RSJ International Conference, Page(s):1636-1641

[8] Yi Guo; Zhihua Qu, "Coverage control for a mobile robot patrolling a dynamic and uncertain environment",Intelligent Control and Automation, 2004. WCICA 2004. Fifth World Congress on Volume 6, 15-19 June 2004 Page(s):4899 - 4903 Vol.6