

이동 센서 네트워크에서 관심영역내의 균일한 분포와 이탈 방지를 위한 노드 배치알고리즘

안효진*, 김유성

*인하대학교 정보통신공학과

follylove@hotmail.com, yskim@inha.ac.kr

Node Deployment Algorithm for Uniform Distribution within Area of Interest in Mobile Sensor Networks

Hyo-Jin An*, Yoo-Sung Kim

*Dept. of Information and Communication Engineering, Inha University

요 약

이동센서 네트워크에서 관심영역 내로부터 최소의 노드 개수로 중복 없이 최대의 센싱 값을 얻기 위해서는 관심영역 내에 노드를 균일하게 그리고 이탈 없이 배치시키는 것이 중요하다. 기존 배치 알고리즘들은 관심영역 내 균일하지 못한 분포와 노드이탈 현상이 발생할 수 있으며 많은 에너지소모를 야기하는 부적절한 배치가 이루어질 수 있다. 본 연구에서는 이동 센서네트워크 환경에서 관심영역 내 노드를 균일하게 분포시키며 노드 이탈을 최소화하는 배치알고리즘을 제안한다. 관심영역에 대한 크기 정보를 바탕으로 노드가 이동하여 배치할 수 있는 방향을 여섯 방향으로 분할하여 각 단일 방향영역 파티션에 따라 배치에 필요한 최소 노드의 개수를 예측한다. 각 방향에 대한 파티션별 노드 집단들은 독립적으로 동시에 배치된다. 본 알고리즘은 중심 루트노드를 기준으로 시작하여 각 여섯 방향에 대하여 노드의 수를 미리 예측하고 배치되기 때문에 노드의 이탈을 최소화할 수 있으며 균일한 배치뿐만 아니라 배치시간 및 이동거리 단축시킬 수 있는 에너지 효율적인 배치알고리즘의 특성을 갖는다.

1. 서론

이동 센서네트워크(Mobile Sensor Network) 기술은 필요한 모든 사물이나 장소에 센서나 전자태그를 부착하고 이를 통하여 사물의 인식정보, 주변의 환경정보(온도, 습도, 조도 등) 및 위치정보를 탐지하고 실시간으로 관리하는 것으로 언제, 어디서나, 어떤 사물과도 통신이 가능한 환경을 구현함으로써 군사, 홈 네트워크, 환경감시, 재난 감시 등의 다양한 응용에 적용된다. 무선 센서 네트워크에서는 관심영역(Area of Interest)에 수많은 센서 노드들(Sensor Nodes)이 배치될 수 있으며 근접한 센서 노드들이 유사한 정보를 측정하는 특성이 있다[4]. 무선 센서 네트워크 환경에서 각 모바일 센서 노드들(Mobile Sensor Nodes)은 특정 위치에 배치되어 그 지역의 정보를 측정 및 획득하고 자체적인 통신망을 구성하여 주변 센서 노드들과의 통신을 통해

데이터를 전달한다. 대부분의 센서네트워크(Sensor Network) 관련 연구에서 에너지와 처리 속도를 고려한 라우팅 프로토콜 및 에너지 소모 관련연구가 대부분이었다. 그러나 센서 네트워크에서 관심영역(Area of Interest)에서의 이동 센서 노드(Mobile Sensor Node)의 배치에 소비되는 시간과 비용문제로 인하여 무작위배치(Random Deployment)와 자체배치(Self Deployment Methods)와 같은 임의로 배치하는 방법들을 택해왔다. 이와 같은 배치들은 일정한 라우팅 경로를 보장하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 그리고 센서 노드들이 어느 한곳으로 집단적 배치가 이루어지는 경우에는 소요되는 노드수가 증가하며 불필요한 중복 센싱 문제가 발생한다. 또한 노드 간 통신 범위를 초과하여 배치된 경우에는 해당 위치 정보 측정 및 데이터 전송이 불가능하다 [3]. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 트리기반배치

알고리즘(Tree Based Deployment Algorithm)이 제안되었다. 이 배치알고리즘은 균일한 노드배치와 단순한 계산으로 에너지효율적인 배치알고리즘을 제시하였다. 하지만 관심영역에서 초기배치 위치와 단방향 진행의 특징에 따라 노드 이탈 문제 및 센싱 불가능 지역이 발생할 수 있는 문제점이 있다. 이처럼 센서네트워크 환경에서 노드의 균일한 분포(Uniform Distribution)는 매우 중요한 이슈이다. 각 모바일 센서노드들은 제한된 에너지를 갖는 특성으로 이동성을 갖는 자체만으로도 에너지 소비를 필요로 하기 때문에 노드의 이동이나 데이터 전송 측면에서의 에너지 소모를 최소화하여야 하고, 관심영역에 대하여 최대한 넓은 포함범위를 갖기 위하여 노드들이 균일한 간격과 위상으로 배치되도록 하여야 한다.

본 논문에서는 센서네트워크 환경에서 관심영역(Area of Interest)에 대한 크기정보를 바탕으로 중앙 루트 노드를 기준으로 방사형으로 6개의 진행 방향을 설정하고 각 방향에 대하여 예상 배치 노드 개수를 예측한다. 미리 결정된 파티션별 노드들을 균일한 거리와 위상으로 여러 방향으로 동시에 분포시켜 노드 이탈을 최대한 방지하고 이동거리를 단축시킬 수 있는 배치알고리즘을 제안한다.

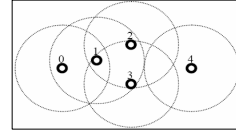
2. 관련연구

무선 센서 네트워크는 센서 노드들이 배치된 센서 필드(sensor field)와 센서 필드와 외부망을 연결하는 싱크(sink)로 구성된다. 각 노드는 데이터를 수집하고 이를 싱크로 라우팅하는 능력을 갖는다.[4] 이러한 센서네트워크 환경에서 노드의 배치를 위한 알고리즘들이 제안되었다[2][3]. 대표적으로 무작위배치알고리즘(Random Diffusion Method), 자체배치알고리즘(Distributed Self-Spreading Algorithm)과 트리기반배치알고리즘(Tree Based Deployment Algorithm)이 있다. 무작위배치알고리즘은 전체 영역을 모두 포함하기 위해 무선 네트워크 연결과 함께 노드의 이동력을 가정하여 이동 노드들의 자율적 확산을 고려하고 지정된 관심영역 내에서 데이터를 수집하는 동안 노드 배치를 위한 알고리즘이다[2].



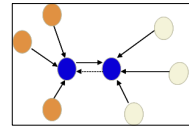
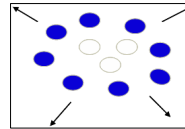
(그림 1) 초기 모바일 로봇 배치 (그림 2) 최종 모바일 로봇 배치
(그림1)은 관심 영역에 대하여 초기 배치 상태이며 (그림2)는 최종 배치 완료 상태를 보여준다. (그림2)에서 볼 수 있듯이 무작위로 노드가 배치되는 경우 센서 노드들이 집단적으로 배치되거나 일부 노드들

이 통신 영역을 벗어나 배치될 수 있음을 알 수 있다.



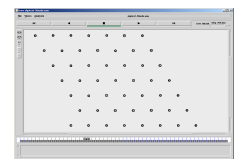
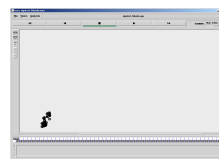
(그림 3) 무작위배치 노드 통신 범위

(그림3)은 통신 영역을 벗어나는 노드들의 예를 보여준다. 0번부터 4번까지 5개 노드들의 연결 모델을 이차원 공간에 나타낸 것이다. 각 노드의 통신 영역을 기준으로 0,1,2,3 노드들은 모두 통신이 가능하지만 4번 노드는 다른 모든 노드의 통신 범위 밖에 있다. 따라서 센싱 결과를 싱크로 전달하지 못하는 상황이 발생 가능하다. 다음으로 자체배치알고리즘(Distributed Self-Spreading Algorithm)은 노드간 거리에 작용하는 힘은 거리에 반비례한다는 물리적 원칙을 기본으로 밀접하게 위치한 노드들은 큰 힘을 발생하고 떨어진 노드들 사이에서는 서로 작은 힘을 발생하는 원리를 이용하여 균일한 노드 배치를 통해 네트워크의 포함범위와 시스템 수명 연장이 목적이다[2].



(그림 4) 노드 밀집 형태 (그림 5) 노드 진동 발생 형태

그러나 (그림4)와 같이 노드가 밀집된 경우 바깥쪽 노드가 확산되지 않으면 안쪽에 위치한 노드는 확산하지 못한다. 확산이 되더라도 바깥쪽 노드들부터 확산이 되어야 하므로 전체적인 배치 속도 저하 및 큰 에너지 낭비를 초래할 수 있다. (그림5)과 같이 노드가 모여 안쪽노드가 이웃 노드의 영향으로 진동 현상이 발생하면 계산량 증가로 불필요하게 에너지를 소모하고 노드의 부하를 가중시킬 수 있다[2]. 트리기반배치알고리즘에서는 임의의 루트노드를 선정하고 루트노드를 기준으로 단방향으로 배치한다[3]. 해당 알고리즘은 통신을 통해 주변 노드를 검색하여 자식 노드를 생성하고 노드사이의 거리를 유지하면서 관심영역에 대하여 넓고 균일한 분포와 노드간 계층구조를 생성함으로써 계산을 단순화하는 것에 목적을 두었다.



(그림 6) 초기 배치

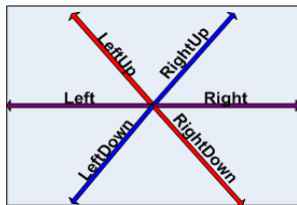
(그림 7) 최종 배치

이 알고리즘은 관심영역의 한쪽 모퉁이에서 단방향으로 시작하므로 배치진행방향의 반대편 관심영역은 전혀 고려되지 않아 센싱 불가능지역이 발생할 수

있다. 그리고 관심영역의 노드 이탈 가능성을 고려하지 않아 노드의 수가 증가할수록 관심영역을 이탈하는 노드가 발생할 수 있다. 또한 마지막 노드까지 배치하기 위하여 출발지점에서 마지막 노드까지 이동해야하므로 제한된 센서 노드의 에너지 측면에서도 비효율적이다. 이러한 문제점들을 보완하기 위하여 본 논문에서는 관심영역에서 요구되는 진행방향에 대한 가로, 세로길이의 크기정보를 측정하고 노드의 수를 예측하여 노드의 이탈을 사전에 방지할 수 있고 균일한 분포를 이루며 이동거리를 단축시키는 배치알고리즘을 제안한다.

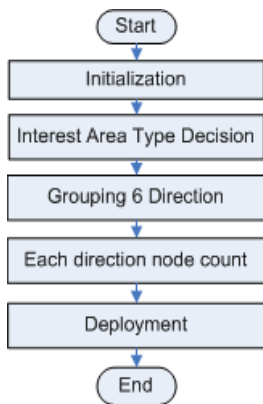
3. 제안알고리즘

본 논문에서는 이동 센서네트워크에서 관심영역 내 노드의 이탈을 방지하고 최대한 균일하게 많은 영역을 포함할 수 있으며 이동거리를 단축시켜 에너지 효율적인 일정한 네트워크 형태의 배치가 이루어질 수 있는 배치알고리즘을 제안한다.



(그림 8) 6개 방향 진행 경로

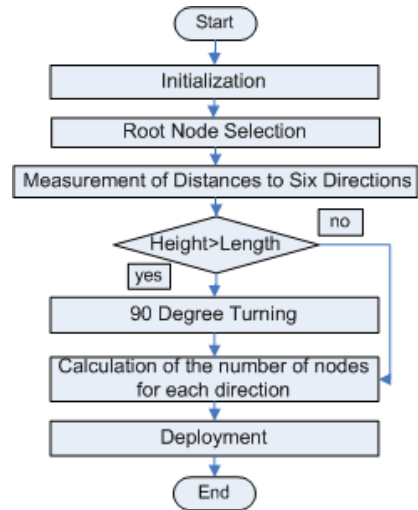
본 배치알고리즘은 6개의 진행 방향에 따른 영역이 아래 (그림8)과 같이 구분된다. 임의의 루트노드를 관심영역 중앙에 선정하여 방사형 구조의 동일한 각도(60°)의 6개 방향을 설정하며 각 방향은 왼쪽 상방향부터 시계방향으로 각각 LeftUp, RightUp, Right, RightDown, LeftDown, Left로 명칭한다. 제안알고리즘에서는 전체 시스템 프로세스, 루트노드 프로세스와 단일노드프로세스 세 가지 프로세스로 이루어진다.



(그림 9) 시스템 흐름도

(그림9)는 제안 배치알고리즘의 전체 시스템 흐름도이다. 임의의 루트노드를 선정하고 중앙에 위치시키고 초기화한다. 다음으로 관심영역의 가로, 세로 길

이의 크기정보를 측정후 루트노드를 기준으로 6개 방향의 진행 경로를 탐색한다. 다음으로 각 방향에 대한 파티션별로 배치해야 하는 최소 노드의 수를 계산한다. 마지막으로 각 파티션별로 6개 방향으로 동시에 배치한다.



(그림 10) 루트노드 관심영역 설정 및 필요 최소 노드개수 계산 프로세스

수식 1 $N = \left\lceil \frac{H}{\sin 30} / D \right\rceil$ 노드 개수 변수값

수식 2 $\sum_{k=1}^N k$ LeftUp, RightDown 노드 개수

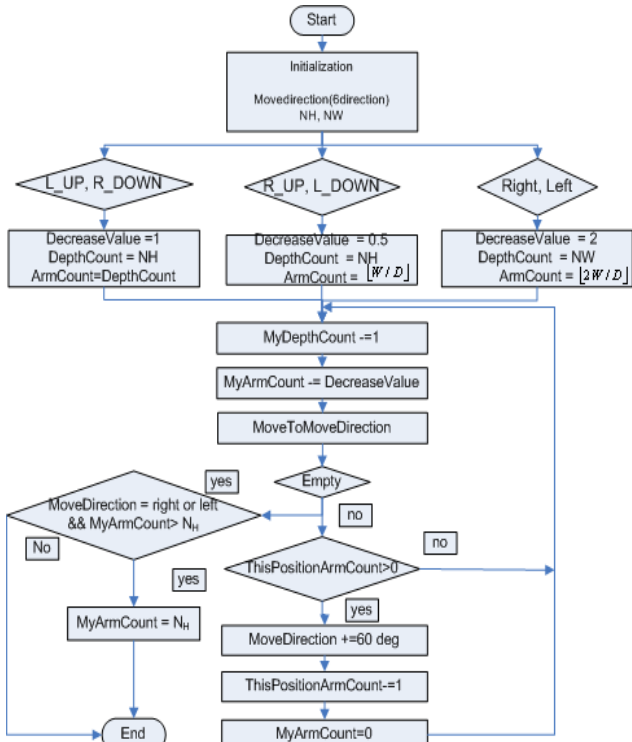
수식 3 $\sum_{k=1}^N \left\lceil \frac{W}{D} - \frac{1}{2}k \right\rceil + N_w$ RightUp, LeftDown 노드 개수

수식 4 $\sum_{k=1}^{\left\lceil \frac{H}{\tan 60^\circ} \right\rceil} (2k-1) + \sum_{k=1}^{\left\lceil \frac{W}{\tan 60^\circ} \right\rceil} N_H + N_W$ Right, Left 노드 개수

(그림 11) 파티션별 필요 최소 노드개수 계산 수식

(그림10)은 루트노드에서 관심영역의 설정과 각 방향에 대한 노드의 개수를 결정한다. 먼저 루트노드를 선정한다. 선정된 루트노드는 관심영역에 대하여 측정된 가로, 세로의 크기정보를 제공받고 루트노드를 기준으로 6개 방향의 진행 경로를 탐색한다. 루트노드에서는 높이와 가로길이를 비교하여 높이가 가로길이보다 더 큰 경우 90도를 선회하여 관심영역을 설정한다. 다음으로 (그림11)의 (수식1), (수식2), (수식3), (수식4)를 이용하여 각 방향에 대한 파티션별로 배치해야 하는 최소 노드의 수를 계산한다. 각 방향별 노드들을 집산화하고 지정 경로로 동시에 배치된다. 관심영역의 중심으로부터 여섯 방향 모두 대칭하는 양쪽 길이가 동일하다. 하지만 Right와 Left를 제외한 나머지 LeftUp, RightUp, RightDown, LeftDown의 진행 방향에 대해서는 (수식1)을 통해 각 진행방향에 대하여 모두 동일한 배치 가능한 최소의 노드 개수를 구할 수 있다. 그리고 (수식2)는 LeftUp과 RightDown의 노드 개수를 결정한다. (수식3)은 (수식1)에서 구한 최소노드의 개수를 기준으로 RightUp과 LeftDown 방향의 노드

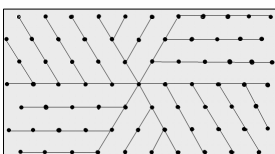
개수를 결정한다. (수식4)는 최소 노드 개수와 삼각 함수를 이용하여 Right와 Left 방향의 노드 개수를 결정한다. 각 진행방향의 파티션별 배치 가능한 최소 노드의 수를 계산하고나면 단일노드의 배치프로세스를 통하여 동시에 각 진행방향으로 분포된다.



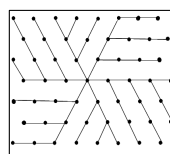
(그림 12) 단일 노드 배치 진행 프로세스

(그림12)는 단일 노드의 배치 진행 프로세스이다. 단일노드배치는 6개 방향에서 각각 서로 대칭하고 있는 방향은 동일한 조건으로 진행되기 때문에 LeftUp과 RightDown, RightUp과 LeftDown, Right와 Left로 쌍을 이루어 세 가지 경우로 구분하여 진행된다. 각각의 경우는 서로 다른 초기값을 갖는다. 각각의 진행경로(Move Direction)와 진행경로에 대하여 뻗어나가는 서브경로(Arm Direction)로 구분된다. 각 노드는 해당 진행경로에 대하여 각각의 현재 위치정보를 계산하고 그 계산 값을 기준으로 경로진행 여부 판별 및 배치 여부를 판단하게 된다. 이처럼 계산된 예상 노드의 개수가 진행 방향 경로로 모두 배치되면 다음 진행 경로로 이동하고 마지막 노드까지 배치가 이루어진다.

4. 배치 결과



(그림 13) 직사각형 관심영역



(그림 14) 정사각형 관심영역

(그림13)와 (그림14)에서 직사각형 형태와 정사각형 형태의 관심영역에 대하여 배치된 결과를 보여준다.

노드간 거리는 1cm를 기준으로 관심영역은 각각 10*15(cm)와 10*10(cm)의 크기로 설정하여 측정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 노드의 이탈을 사전 방지할 수 있으며 균일한 위상과 관심영역에 대하여 최대한 포함범위를 포함하며 배치가 될 수 있는 것을 알 수 있다. 또한 관심영역의 중심으로부터 각 방향에 대한 그룹별 노드들이 동시에 배치되므로 배치시간과 이동거리를 단축시킬 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 무선센서네트워크 환경에서 관심영역 내 노드들의 균일한 분포와 노드의 이탈을 최소화할 수 있는 배치알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 배치알고리즘은 관심영역에 대하여 높이와 길이를 계산하고 관심영역 중앙의 루트노드를 기준으로 여섯 방향으로 분할하여 각 방향별 포함영역에 대하여 배치 가능한 노드의 개수를 미리 예측함으로써 노드 이탈을 최소화할 수 있다. 또한 각 방향에 대한 포함영역별 노드 집단은 관심영역 중심의 루트노드를 기준으로 독립적으로 동시에 배치되므로 배치 시간과 이동 거리를 단축시킬 수 있다. 논문에서 제안하는 배치알고리즘은 센서노드들이 포함 영역을 최대한 넓고 균일하게 배치할 수 있을 뿐만 아니라 이동거리를 단축시킴으로써 배치시간을 감소하며 소요에너지를 최소화할 수 있는 특성이 있다. 향후 연구로써 불규칙한 형태의 관심영역에 대한 면적을 고려하여 노드를 예측할 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] A.F.T Winfield, "Distributed Sensing and Data Collection Via Broken Ad Hoc Wireless Connected Networks of Mobile Robots," in Distributed Autonomous Robotic Systems 4, Springer-Verlag, pp.273-282, 2000.
 [2] A. Howard, M. J. Mataric, and G. S. Sukhatme, "Mobile sensor network deployment using potential fields: A distributed, scalable solution to the area coverage problem," in Proc. of the 6th Int.l Conf. on Distributed Autonomous Robotic Syst. (DARS02), pp.299-308, 2002.
 [3] 문종천, "이동 센서 네트워크에서의 트리 기반 배치 알고리즘에 관한 연구", 석사학위논문, 인하대학교 대학원 정보통신공학과, Feb. 2006.
 [4] I.F.Akyildiz et al, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 40, Issue 8, pp.102-114, Aug.2002