

무선 센서 네트워크에서의 연속적인 물체의 추적을 위한 에너지 효율적인 경계 선정 기법

(An Energy-efficient Edge Detection Method for Continuous Object Tracking in Wireless Sensor Networks)

장 상 욱[†] 한 주 선^{**} 하 란^{***}
(Sangwook Jang) (Joosun Hahn) (Rhan Ha)

요 약 무선 센서 네트워크는 군사적, 환경적 목적으로 다방면에서 활용될 수 있는데, 최근 유독가스, 산불, 지진과 같은 연속적인 성격을 가진 물체의 확산 경로를 추적하는 연구가 새롭게 진행되고 있다. 기존 연구에서는 연속적인 물체의 경계를 지역적으로 추정하기 위해 1-홉 이웃 노드들과의 통신을 통한 방식을 제시하였으나, 이러한 방식은 불필요하게 많은 노드들이 경계 노드로 선택되어 물체의 경계를 정확히 측정할 수 없는 문제를 안고 있다. 본 논문에서는 최소한의 경계 노드를 선별하기 위해 지역적인 드로네 삼각기법을 이용한 방법을 제안하고, 연속적인 물체를 에너지 효율적으로 추적하기 위한 센서의 동작 규칙을 규정한다. 모의실험 결과, 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 1-홉 경계 설정과 비교해 경계 노드의 선택 정확도는 평균 29.95% 개선되면서도 경계 노드의 수는 평균 54.43% 감소하며, 통신 메시지 수와 에너지 소모량은 각각 평균 79.36%, 72.34% 향상됨을 보였다. 또한, MICAz mote를 이용한 현장실험을 통해 평균 48.38% 경계 노드 수가 감소함을 보였다.

키워드 : 센서 네트워크, 경계 감지, 지역적인 드로네 삼각기법

Abstract Wireless sensor networks (WSNs) can be used in various applications for military or environmental purpose. Recently, there are lots of on-going researches for detecting and tracking the spread of continuous objects or phenomena such as poisonous gas, wildfires, earthquakes, and so on. Some previous work has proposed techniques to detect edge nodes of such a continuous object based on the information of all the 1-hop neighbor nodes. In those techniques, however, a number of nodes are redundantly selected as edge nodes, and thus, the boundary of the continuous object cannot be presented accurately. In this paper, we propose a new edge detection method in which edge nodes of the continuous object are detected based on the information of the neighbor nodes obtained via the Localized Delaunay Triangulation so that a minimum number of nodes are selected as edge nodes. We also define the sensor behavior rule for tracking continuous objects energy-efficiently. Our simulation results show that the proposed edge detection method provides enhanced performance compared with previous 1-hop neighbor node based methods. On the average, the accuracy is improved by 29.95% while the number of edge nodes, the amount of communication messages and energy consumption are reduced by 54.43%, 79.36% and 72.34%, respectively. Moreover, the number of edge nodes decreases by 48.38% on the average in our field test with MICAz motes.

Key words : Sensor Networks, Edge Detection, Localized Delaunay Triangulation

· 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(KRF-R01-2006-000-10073-0), 대학 IT연구센터 육성지원사업 HY-SDR 연구센터, 2008학년도 홍익대학교 학술연구 건설홍비의 지원으로 수행되었음

† 정 회 원 : 홍익대학교 컴퓨터공학과
swjang94@gmail.com

** 정 회 원 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 연구교수
jshan@zeen.snu.ac.kr

*** 종신회원 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 교수
rhanha@cs.hongik.ac.kr

논문접수 : 2009년 2월 23일
심사완료 : 2009년 9월 2일

Copyright©2009 한국정보과학회: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제36권 제6호(2009.12)

1. 서론

무선 센서 네트워크는 사람의 눈에 보이지 않을 정도의 작은 센서 기계를 이용하여 주변 환경을 감시하고, 그 감시한 결과를 스스로 판단하여 절적인 행동을 취하는 시스템이다. 이러한 시스템은 여러 가지 다양한 응용에 활용될 수 있는데, 예를 들어 전장에서 적의 침투나 이동경로를 감지한다거나 적의 화생방 공격에 대한 정보를 제공하여 초기에 대처할 수 있는 군사적인 목적으로 사용될 수 있다. 또한 주변 환경 정보, 즉 온도, 습도, 압력, 오염정보, 균열정보 등을 탐지하여 산불이나 지진과 같은 자연재해를 미리 예방하는 목적 등으로 다양하게 응용될 수 있다.

무선 센서 네트워크를 활용하여 탐지할 수 있는 물리적인 환경 요소 중에 연속적인 성격을 가지고 있는 물체가 지리적으로 넓게 분포되는 상황이 있다. 오염균이 발생된 지역이나 지진의 영향범위를 대표적인 예로 들 수 있는데, 이러한 연속적인 무형의 물체를 감지 및 추적하기 위해서는 연속적인 물체가 언제 어디서 발생하였고 현재 어디로 진행되고 있는가를 파악하는 것이 필요하며, 이를 위해 물체의 경계를 정확하게 측정하는 것이 요구된다. 하지만 이러한 지역은 사람이 직접적으로 연속적인 물체를 측정하기 어려운 장소이므로 센서와 같은 기계 장비를 이용해야만 한다. 만약, 센서를 이용하여 연속적인 물체를 감지한 후, 물체의 경계 정보를 base station에게 전송할 수 있다면 전체적인 물체의 영향 범위를 측정할 수 있다.

센서를 이용하여 물체의 경계 영역을 측정하는 기존 연구 중에 지역적으로 연속적인 물체의 경계를 측정하는 방법이 제안되었다. 즉, 센서는 전파 전송 범위가 제한되어 있기 때문에 자신이 물체의 경계에 위치해 있는지 아닌지를 주변 센서와의 지역적인 방식으로 측정하는 방법이 필요하다. 또한 센서는 에너지를 재공급받기 어렵기 때문에 에너지 효율적으로 감지 및 감지 정보 전달하는 방법도 필요하다[1,2].

본 논문에서는 사람이 직접적으로 접근이 불가능한 지역에 임의로 배치된 센서가 무형의 연속적인 성질을 띤 물체를 에너지 효율적인 방법으로 감지하고, 현재의 센서 배치 상태에 따라 에너지 효율적으로 물체의 형태를 가장 잘 표현할 수 있는 방법을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 연속적인 물체의 감지 방법에 대한 기존 연구와 문제점을 제시하고, 3절에서는 2절에서 제시한 문제점을 해결하기 위한 네트워크 모델과 제안 방법을 설명한다. 4절에서는 본 논문에서 제안하는 방법과 센서 결합에 의한 동작 규칙을 설명하고, 5절과 6절에서 모의실험과 실제 MICAz mote를 이용한

현장실험을 통해 기존 연구와 성능을 비교 평가한다. 향후 연구와 결론은 7절에서 맺는다.

2. 기존 연구

2.1 기존 연구

최근 연속적인 물체의 경계를 측정하기 위해 주변 센서와의 지역적인 방법으로 경계를 설정하는 방법이 제안되었다. 즉, 물체를 감지한 센서 노드들은 자신의 1-홉 이웃 노드들에게 동일한 물체를 감지하였는지 확인함으로써 자신이 그 물체의 경계와 가장 가까운 노드인지 아닌지를 판단하는 것이다. 이렇게 경계 노드를 설정하는 근본적인 이유는 물체를 감지한 모든 센서 노드들이 base station에게 보고하는 것보다 물체의 경계와 가장 가까운 센서 노드들만 보고하는 것으로도 충분히 그 물체의 영역을 알 수 있기 때문이다[1,2]. 또한, 이웃 노드들에게 문의하는 이유는 사람이나 기계와 같이 유형의 물체를 감지할 경우에 일정한 감지 범위를 보이지만, 본 논문의 연구 대상과 같이 무형의 연속적인 물체를 센서 노드들이 감지할 경우에는 감지 범위가 없기 때문이다. 따라서 자신이 물체의 경계와 가장 가까운 노드인지 아닌지를 이웃 노드들의 감지 여부에 의해서 판단할 수 밖에 없다. 더욱이 센서 노드의 전파 전송 범위가 제한되어 있기 때문에 직접적으로 송수신이 가능한 1-홉 거리의 노드만을 이용해야만 하는 제한이 있다[1,2].

기존 연구 [1]에서는 연속적인 물체를 감지한 센서 노드는 자신의 1-홉 이웃 노드들 중에 하나의 센서 노드라도 감지하지 못하였을 경우에 자신이 물체의 경계와 가장 가까이 위치해 있다고 판단한다. 따라서 연속적인 물체의 경계와 가장 가까이 위치해 있다고 판단한 센서 노드는 그 물체의 경계 노드로 설정한 후 자신이 감지한 감지 정보를 base station에게 에너지 효율적으로 전달하기 위해서 이웃 경계 노드들과 동적으로 클러스터를 구성한다. 이 동적 클러스터의 크기는 3홉에서 5홉 정도의 깊이를 가지며, 감지 경계 노드 중에서 클러스터 헤더를 선정하여 헤더를 중심으로 감지 경계 노드들의 감지 정보를 취합하게 된다. 이렇게 헤더만이 경계 정보를 취합하여 base station에게 전달하는 역할을 수행하고, 경계 노드가 아닌 노드들은 자신이 경계의 안쪽에 있기 때문에 base station에게 보고할 필요 없이 경계 노드의 위치만 확인함으로써 불필요한 송수신 메시지가 에너지 낭비를 막을 수 있게 된다. 후에, [3]에서, 감지 정보를 취합하기 위해 동적으로 클러스터를 구성하는 것 외에도, 정적 클러스터 구조를 이용하여 정적 클러스터 헤더로 하여금 경계 노드를 설정하도록 확장하였으나, 이러한 클러스터 헤더에 의존적인 방식은 클러스터 헤더와 멤버 간에 에너지 소비 불균형을 초래할 뿐만

아니라 클러스터 헤드의 결합에 매우 취약하다는 문제점이 있다.

기존 연구 [2]에서는 1-홉 이웃 노드들의 위치 정보가 부정확하거나 주변 환경 요소로 인한 예기치 못한 오류 또는 센서 결합이 발생하는 상황에서도 경계 노드를 설정할 수 있는 세 가지 접근 방법을 제안하였다. 첫째로 센서 노드가 1-홉 이웃 노드들의 감지 정보를 취합하여 통계적으로 계산한 후 임계값 이상일 경우 경계 노드로 설정되는 통계적 접근 방법(statistical approach)을 제안하였다. 둘째로 Prewitt filter를 이용한 이미지 프로세싱 기반 접근 방법(image processing approach)을 제안하였으며, 마지막으로 classifier score를 이용한 분류기 기반 접근 방법(classifier-based approach)을 제안하였다. [2]의 실험 결과에서 세 가지 접근 방법 모두 probing 반경이 tolerance 반경의 2배 이상일 경우 100%에 가까운 정확도를 보였다. 하지만 기존 연구[1,2]는 모두 자신의 1-홉 이웃 노드의 정보를 이용하기 때문에 두꺼운 띠 형태로 경계 노드가 선택되어지며, 그에 따른 많은 송수신 메시지와 에너지 소모가 발생한다. 특히 [2]는 probing 반경이 증가함에 따라서 오버헤드가 증가하는 문제점이 있다.

한편, 드로네 삼각기법(Delaunay Triangulation)[4]은 센서 네트워크에서 감지한 감지 정보를 미리 위치가 알려져 있는 base station에게 전송하고자 할 때 이웃 노드들과의 통신을 통하여 전송 홀이 발생한 지역을 우회하기 위한 방법으로서 제안되었다. 즉, 이웃 노드들과 드로네 삼각기법(Delaunay Triangulation)을 통하여 홀을 확인하고, 전송할 수 없는 경로를 지역적으로 파악하여 패킷이 정체되는 일 없이 목적지 노드까지 전송하는 방법을 제시하였다. 드로네 삼각기법이란, 세 개의 노드를 형성할 때 이 세 개의 노드를 지나는 외접원 안에 어떠한 다른 노드도 존재하지 않도록 구성하는 것이다. 또한 보로노이 도형(Voronoi Diagram)은 드로네 삼각기법과 쌍대(dual) 관계를 가지고 있어서 한쪽을 구성하면 쉽게 다른 한쪽을 유추해 낼 수 있다. 보로노이 도형은 다각형 안의 모든 점과 가장 가까운 노드가 하나만 존재하도록 구성하는 것이다.

이후, [5]와 [6]에서는 드로네 간선을 형성할 때 센서 노드의 일정한 전송 범위를 고려하는 지역적인 드로네 삼각기법(Localized Delaunay Triangulation)을 제안하였다. 지역적인 드로네 삼각기법은 드로네 간선의 길이가 전송 범위를 초과할 경우는 드로네 간선을 형성하지 않도록 구성하는 것이다.

본 논문에서는 경계 노드를 선택하기 위해 직접적으로 송수신이 가능한 모든 1-홉 이웃 노드를 이용하지 않고 지역적인 드로네 삼각형을 형성하여 생성되는 드

로네 간선을 이용하여 이웃 노드를 선택적으로 제한한다. 본 논문과 기존 연구[1,2]의 중요한 차이점은 1-홉 이웃 노드들에게 감지 정보를 문의하는 것이 아니라 드로네 간선에 있는 센서 노드들에게만 문의함으로써 이웃 노드를 제한한다는 점이다. 이렇게 지역적인 드로네 삼각기법을 사용하면 더 높은 정확도를 유지하면서도 중복되거나 불필요한 감지 경계 노드의 선택을 막고, 에너지 효율적인 송수신을 할 수 있다.

2.2 기존 연구의 문제점

기존 연구에서는 독가스나 산불 또는 지진과 같은 연속적인 성질을 가지고 있는 물체를 감지하기 위해 센서 노드들을 감지 경계 노드와 감지 비경계 노드로 구분한다[1,2]. 여기에서 가장 중요한 문제인 감지 경계 노드와 감지 비경계 노드의 선별 과정은 1-홉 이웃 노드들과의 통신을 통하여 지역적으로 결정된다. 즉, 연속적인 물체를 감지한 노드들은 1-홉 이웃 노드들에게 동일한 물체를 감지하였는지를 문의한다. 이 때 감지하지 못한 노드가 하나라도 있을 경우에는 그 노드가 감지 경계 노드로 설정이 되고, 반대로 모든 1-홉 이웃 노드들이 물체를 감지할 경우에는 감지 비경계 노드가 된다[1]. 하지만 모든 1-홉 이웃 노드들에게 문의를 할 경우에는 그림 1과 같은 문제가 발생한다.

그림 1은 $700m \times 560m$ 공간에 전송범위가 $100m$ 인 센서 노드 200개를 임의로 배치한 그림이다. 만일 연속적인 물체를 감지하고자 하는 지역(ROI, Region of Interest)이 그림 1과 같고 연속적인 물체가 왼쪽 위에서부터 확산되었다고 가정하면, 기존 연구에서는 회색으로 표현된 센서들이 감지 경계 노드로 선택된다. 하지만 그림 1에서 보듯이 감지 경계 노드들이 두꺼운 띠 형태로 선택되어 지는데, 이러한 이유는 모든 1-홉 이웃 노드들에게 감지 정보를 문의하기 때문이다. 이러한 띠 현상은 이웃 노드의 수가 많아질수록 더 두껍게 발생된

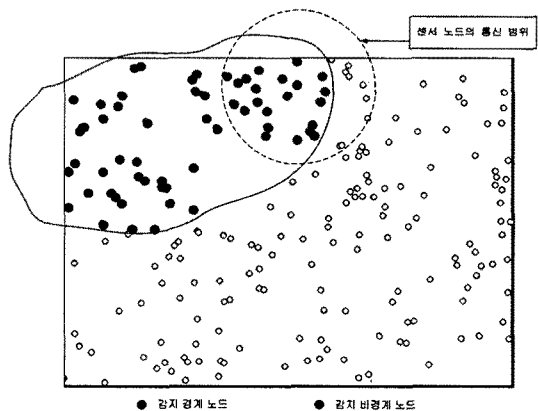


그림 1 연속적인 물체를 감지하는 기존 연구의 문제점

다[2]. 이상적인 경계 노드 설정은 감지 경계 노드가 물체의 경계와 가장 가까운 노드들로만 구성되는 것이다. 하지만, 이렇게 떠 형태로 감지 경계 노드가 구성되면, 불필요한 중복 정보가 발생하여 센서 노드의 에너지는 더 많이 소비될 것이다.

기존 연구[1,2]에서는 이러한 문제점에 대하여 어떠한 해결 방안도 제시하고 있지 않기 때문에, 본 논문에서는 센서 노드들이 모든 1-홉 이웃 노드들의 지역적인 정보가 아닌, 지역적인 드로네 삼각기법[5]을 사용하여 자신과 가장 가까운 이웃 노드의 정보만을 유지하도록 함으로써 위에서 언급한 문제점을 해결한다.

3. 지역적인 경계 노드 설정

본 논문에서는 연속적인 물체를 에너지 효율적으로 추적하고, 감지 경계 노드의 수를 줄일 뿐 아니라 연속적인 물체의 형태를 가장 근사하게 표현할 수 있도록 지역적인 드로네 삼각기법을 이용한다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 방법으로서 센서의 전송범위를 고려한 지역적인 드로네 삼각기법을 구성한 네트워크이다[5].

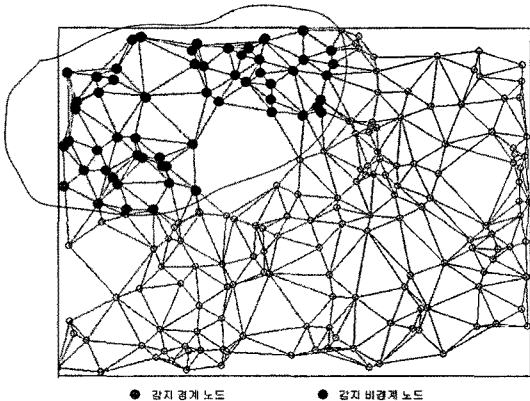


그림 2 제안하는 경계 노드 설정 방법

그림 2는 그림 1과 같은 네트워크 환경이지만, 각 센서 노드들의 이웃 노드를 드로네 간선에 있는 노드들로 제한하면 감지 경계 노드의 수가 감소함을 보여준다. 따라서 감지 경계 노드들이 두꺼운 띠 형태로 선택되는 기존 연구의 문제점을 해결할 수 있다.

3.1 감지 경계 노드와 감지 비경계 노드의 설정

그림 3과 4는 연속적인 물체가 동일하게 확장된 상태에서 기존 연구 [1]의 방법과 본 논문에서 제안하는 방법에 의한 경계 노드 설정을 비교한 예이다. 그림 3은 1-홉 이웃 노드를 이용하여 경계 노드를 선택한 경우로서 노드 N_0 는 경계 노드로 선택된다. 그 이유는 노드 N_0 의 1-홉 거리 내에 위치한 모든 이웃 노드들 중에

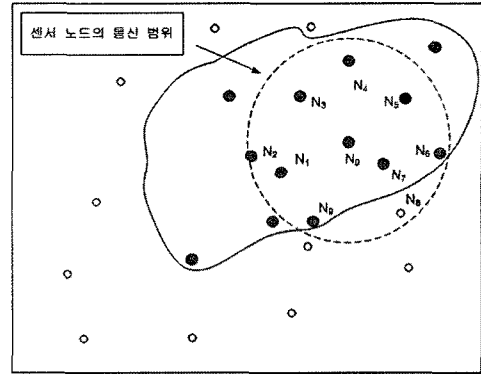


그림 3 1-홉 경계 노드 설정

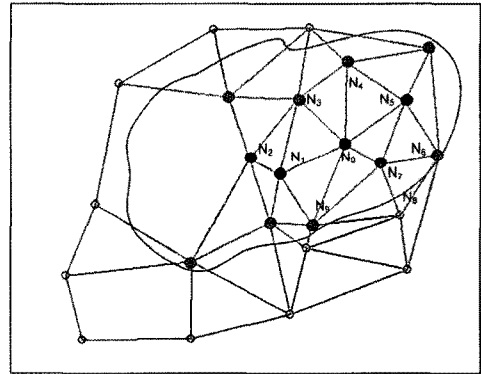


그림 4 지역적인 드로네 경계 노드 설정

물체를 감지를 하지 못한 노드 N_8 이 존재하기 때문이다. 하지만, 그림 4에서 보듯이, 본 논문에서 제안하는 방법으로는 노드 N_0 가 비경계 노드로 선택된다. 그 이유는 노드 N_0 가 1-홉 이웃 노드 전부에게 문의하는 것이 아니라 드로네 간선에 있는 노드 $N_1, N_3, N_4, N_6, N_7, N_9$ 에게만 문의하여 판단하는데, 드로네 간선에 있는 모든 노드가 물체를 감지하였기 때문이다. 다음은 본 논문에서 제안하는 감지 노드, 드로네 이웃 노드, 감지 경계 노드, 감지 비경계 노드 집합에 대한 정의이다.

정의 1. 감지 노드(Sensed Node), S : 연속적인 물체를 감지한 ROI 내의 센서 노드들의 집합.

정의 2. 지역적인 드로네 이웃 노드(Localized Delaunay Neighbor Node), $Neighbor_{LD}(s)$: 센서 노드 s 가 1-홉 이웃 노드들과 지역적인 드로네 삼각형을 형성하였을 때, 노드 s 와 드로네 간선으로 연결되는 ROI 내의 센서 노드들의 집합.

정의 3. 감지 경계 노드(Sensed Edge Node), S_{edge}
: 자신의 지역적인 드로네 이웃 노드들 중에 연속적인 물체를 감지하지 못한 노드가 하나라도 있는 감지 노드들의 집합.

$$S_{edge} = \{s_i \mid \exists s_j \notin S, s_j \in Neighbor_{LD}(s_i), s_i \in S\}$$

정의 4. 감지 비경계 노드(Sensed Non-edge Node), $S_{nonedge}$
: 자신의 지역적인 드로네 이웃 노드들 중에 연속적인 물체를 감지하지 못한 노드가 하나도 없는 감지 노드들의 집합.

$$S_{nonedge} = \{s_i \mid \forall s_j \in S, s_j \in Neighbor_{LD}(s_i), s_i \in S\}$$

3.2 네트워크 구성

일단 센서 노드들이 임의의 위치에 배치되면, 각 센서 노드는 위치 측정 기법[7-9]을 사용하여 자신의 위치를 측정한다. 위치 측정 기법에 의해 자신의 위치를 측정한 센서 노드들은 모든 1-홉 이웃 노드들과의 위치 정보 교환을 통해 1-홉 이웃 노드 표를 작성한다. 이렇게 작성된 1-홉 이웃 노드 표를 바탕으로 지역적인 드로네 삼각기법을 사용하여 지역적인 드로네 이웃 노드 표를 작성하고, base station에게 자신의 ID, 위치 정보, 1-홉 이웃 노드 정보를 전송한다.

네트워크 구성 시 지역적인 드로네 이웃 노드를 구하기 위한 지역적인 드로네 삼각기법의 계산 오버헤드는 $O(n)[6]$ 으로 이는 기존의 1-홉 이웃 노드 기반의 경계 선정 기법에는 없는 추가 오버헤드지만, 지역적인 드로네 이웃 노드는 네트워크 구성 시 센서 노드들이 배치될 때 최초 한 번만 설정하면 되므로 센서 결함을 제외하고는 이로 인해 주기적인 에너지 소비가 발생하지는 않는다.

4. 연속적인 물체의 위치 추적

4.1 동작 규칙

3장에서 설명한 지역적인 드로네 경계 설정 방법을 이용하여 각 센서 노드들이 연속적인 물체의 위치를 에너지 효율적으로 추적하기 위해, 감지 경계 노드와 감지 비경계 노드는 다음과 같은 규칙을 따라 동작한다.

1) 감지 경계 노드 규칙

감지 경계 노드는 자신이 감지 경계 노드인지 아닌지 판별한 후, 감지 경계 노드일 경우에는 base station에 감지 결과를 보고하기 위한 전송 과정에 참여한다.

2) 감지 비경계 노드 규칙

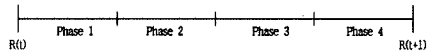
감지 비경계 노드는 자신이 감지 경계 노드인지 아닌지 판별한 후, 비경계 노드일 경우에는 어떠한 동작도 하지 않는다.

4.2 동작 순서

본 논문에서 네트워크 생명주기는 일정한 주기 R을

가지는 Round로 나누어지며, Round 별로 동작하기 위해 각 센서 노드는 이웃 노드 또는 base station과 시간 동기화 기법[10-12]을 이용하여 동기화되어 있다고 가정한다. 그림 5는 각 센서 노드의 동작 순서를 Round 별로 구분한 것이며, 그림 6은 본 논문에서 제안하는 방법의 동작 과정을 의사 코드로 표현한 것이다. 그림 6에서 $S, S_{edge}, S_{nonedge}$ 는 모두 공집합으로 초기화되어 있으며, $Neighbor_{LD}(s)$ 는 네트워크 최초 구성 시에 설정되어 있다고 가정한다.

그림 5와 6의 Phase 1에서는 ROI 내에 있는 모든 센서 노드들이 base station의 질의에 해당하는 연속적인



Phase 1	연속적인 물체 감지
Phase 2	감지 노드 문의 전송 및 비감지 노드 문의 수신
Phase 3	비감지 노드 응답 전송 및 감지 노드 응답 수신
Phase 4	경계 감지 노드 판단 및 base station에게 감지 정보 전송

그림 5 Round별 동작 순서

```

PROCEDURE Continuous Object Tracking
for each Node  $s$  {
    Phase 1 :
     $s$  performs the sensing task
    if (  $s$  sensed the target continuous object )
         $S = S \cup s$ 

    Phase 2 :
    if (  $s \in S$  ) {
        for each Node  $e \in Neighbor_{LD}(s)$ 
             $s$  transmits the inquiry message to  $e$ 
        }

    Phase 3 :
    if (  $s \notin S$  ) {
        for each Node  $e \in Neighbor_{LD}(s)$ 
            if (  $s$  received the inquiry message from  $e$  )
                 $s$  transmits the response message to  $e$ 
        }

    Phase 4 :
    if (  $s \in S$  ) {
        for each Node  $e \in Neighbor_{LD}(s)$  {
            if (  $s$  received the response message from  $e$  ) {
                 $S_{edge} = S_{edge} \cup s$ 
                break
            }
        }
        if (  $s \notin S_{edge}$  )
             $S_{nonedge} = S_{nonedge} \cup s$ 
        if (  $s \in S_{edge}$  )
             $s$  transmits the sensing information to the base station
    }
}
END PROCEDURE
    
```

그림 6 지역적인 드로네 경계 설정을 이용한 연속적인 물체의 위치 추적 알고리즘

물체를 감지하기 전까지 비활성 상태와 활성 상태를 주기적으로 반복하며 감지 활동을 수행한다. 만약, 센서 노드가 연속적인 물체를 감지할 경우에는 Phase 2와 Phase 3의 문의 및 응답 과정이 수행된다. 즉, Phase 1에서 물체를 감지한 센서 노드들은 Phase 2에서 자신의 지역적인 드로네 이웃 노드들에게 감지 여부를 문의하는 메시지(inquiry message)를 전송하고, Phase 3에서 응답 메시지를 수신하기 위해 대기한다. 반면, Phase 1에서 물체를 감지하지 못한 센서 노드들은 Phase 2에서 지역적인 드로네 이웃 노드들로부터 문의 메시지를 수신하기 위해 대기하고, 문의 메시지를 수신했을 경우에는 Phase 3에서 자신이 감지하지 못했음을 응답하는 메시지(response message)를 전송한다. 마지막으로, Phase 4에서 감지 노드들은 Phase 2와 Phase 3을 통하여 자신이 감지 경계 노드인지 감지 비경계 노드인지 판단한 후, 감지 경계 노드이면 base station에게 감지 정보를 보고하기 위한 전송 과정에 참여하게 된다. 본 논문에서는 감지 경계 노드를 에너지 효율적으로 선정하는 방법에 초점을 맞추었기 때문에, base station에게 감지 정보를 보고하는 방법과 data fusion, 경로 설정에 대한 사항은 기존 방법을 사용한다고 가정한다[1,5,13].

5. 모의실험 및 평가

본 논문에서 제안한 지역적인 드로네 경계 설정 방법이 기존 방법과 비교해 얼마나 효과적으로 경계 노드를 설정하는지 확인하기 위해 모의실험을 통한 성능 평가를 수행하였다. 성능 비교 대상은 기존 연구 [1]의 1-홉 경계 설정 방법과 기존 연구 [2]의 통계 경계 설정 방법으로 설정하였다.

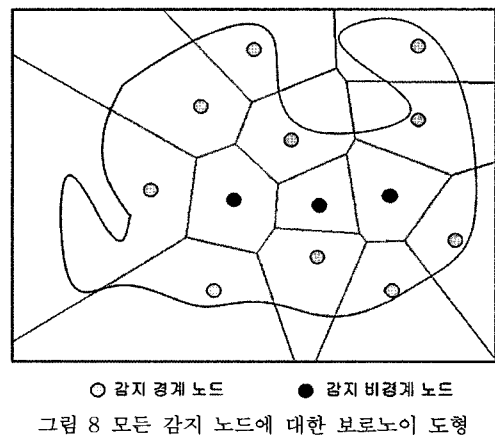
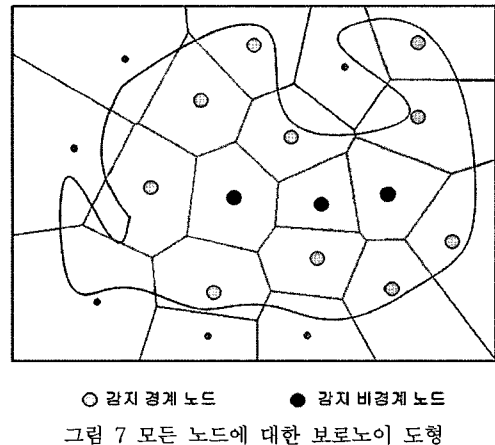
모의실험 환경은 다음과 같다. 우선 전체 네트워크의 크기는 $650m \times 530m$ 이고 ROI의 크기는 $550m \times 430m$ 로 가정하였다. 센서 노드는 총 300개, 750개, 1500개를 임의로 배치하여 ROI 내의 센서 수를 약 200개, 500개, 1000개로 구성하였다. 각 센서의 감지 범위는 0이고 전파 전송 범위는 50m로 가정하였다. 또한 센서 노드의 실질적인 에너지 소비량의 변화를 확인하기 위하여 Mica2의 실험 데이터를 기반으로 하였다. 즉, 초당 한 번씩 감지와 송수신을 한다면, 감지 기능을 사용하였을 경우에 20mW의 에너지가 소모되고, 송신과 수신시에 각각 10mW와 7mW의 에너지가 소모된다고 가정하였다[14].

연속적인 물체를 추적할 때 동일한 조건에서 실험하기 위하여 물체의 시작위치, 확장속도, 확장범위, 확장방향을 동일하게 하였다. 즉, 시작위치는 전체 네트워크의 중앙으로 설정하고 임의의 방향으로 확장시켰다. 각 실험은 Round별로 진행하였으며 연속적인 물체가 ROI 내에서 확장되는 Round 340까지 진행하였다.

5.1 이상적인 감지 경계 노드 선택 모델

본 논문에서 제안한 지역적인 드로네 경계 설정 방법의 감지 경계 노드 선택 정확도를 평가하기 위해서는 이상적인 감지 경계 노드 선택 모델이 필요하다. 본 논문에서 사용한 이상적인 감지 경계 노드 선택 모델에서는 전체 네트워크 안에 있는 감지한 모든 센서 노드를 기준으로 보로노이 도형을 형성한 후 감지 경계 노드와 감지 비경계 노드로 구분하였다. 그 이유는 감지한 모든 센서 노드를 기준으로 감지 경계 노드와 감지 비경계 노드로 판단하는 것이 현재 센서 노드의 배치상태에 따른 최적의 선택이기 때문이다.

그림 7은 현재 배치된 모든 센서 노드를 기준으로 보로노이 도형을 형성한 그림이다. 그림 7에서 감지 경계 노드와 감지 비경계 노드를 최적으로 선택하기 위해서 그림 8과 같이 감지된 모든 센서 노드를 기준으로 보로노이 도형을 형성하여 보로노이 다각형 내에 물체의 경계가 존재할 경우 그 노드를 감지 경계로 선택하고, 그 외의 노드를 감지 비경계 노드로 선택한다. 다음은 그림 8



이 이상적인 감지 경계 노드 선택임을 증명하는 것이다.

정리 1. 연속적인 물체의 경계 y 가 보로노이 다각형 $V(S_i)$ 안에 있다면, S_i 는 감지 경계 노드이다.

증명. 만약 S_i 가 감지 경계 노드가 아니라면 감지 비경계 노드이며 물체의 경계와 제일 가까운 노드가 아니다. 따라서 물체의 경계와 제일 가까운 노드 $S_{j(i)}$ 가 존재하여 S_j 가 속한 보로노이 다각형 내에 물체의 경계 y 가 있어야 한다. 하지만 이는 경계 y 가 보로노이 다각형 $V(S_i)$ 안에 있다는 가정에 위배되므로, S_i 가 물체의 경계와 제일 가까운 노드이며 감지 경계 노드이다. ■

정리 2. 연속적인 물체의 경계 y 가 보로노이 다각형 $V(S_i)$ 안에 없다면, S_i 는 감지 비경계 노드이다.

증명. 만약 S_i 가 감지 비경계 노드가 아니라면 물체의 경계와 제일 가까운 노드이며 감지 경계 노드이다. 따라서 S_i 가 속한 보로노이 다각형 내에 물체의 경계 y 가 존재해야 한다. 하지만 이는 경계 y 가 보로노이 다각형 $V(S_i)$ 안에 없다는 가정에 위배되므로, S_i 가 물체의 경계와 제일 가까운 노드가 아니며 감지 비경계 노드이다. ■

본 논문에서는 위와 같은 이상적인 감지 경계 노드 선택 모델을 기준으로 지역적인 드로네 경계 설정 방법과 기존 방법의 감지 경계 노드 및 비감지 경계 노드 선택 정확도를 비교하였다. 식 (1)은 이상적인 모델에서 선택된 경계 노드와 각 기법에서 선택한 경계 노드를 계산한 식이며, 식 (2)는 불일치된 노드의 수를 계산한 식이다.

표 1 정확도 판단 기준표

O_e	이상적인 감지 경계 노드의 집합
O_n	이상적인 감지 비경계 노드의 집합
S_e	각 기법에서 선택한 감지 경계 노드의 집합
S_n	각 기법에서 선택한 감지 비경계 노드의 집합
N_{set}	해당 set에 포함되는 노드의 개수

감지한 모든 노드의 선택 정확도 (%)

$$= \frac{N_{O_e \cap S_e} + N_{O_n \cap S_n}}{N_{O_e} + N_{O_n}} \times 100 \quad (1)$$

불일치된 노드 수

$$= N_{O_e \setminus S_e} + N_{O_n \setminus S_n} \quad (2)$$

5.2 에너지 소비 공식

본 논문에서 제안한 지역적인 드로네 경계 설정 방법의 에너지 소비량을 평가하기 위해 사용한 에너지 소비 공식은 다음과 같다. 표 2에서 $Neighbor(s)$ 는 센서 노드 s 의 이웃 노드들의 집합인데, 기존 방법에서는 1-홉 이웃 노드들에 집합이고, 지역적인 드로네 경계 설정 방법

에서는 지역적인 드로네 이웃 노드들의 집합이다. 따라서 기존 방법과 에너지 소모량의 차이는 $Neighbor(s)$ 의 개수와 직접적인 연관이 있다. 식 (3)과 식 (4)는 각각 감지 노드들과 비감지 노드들의 에너지 소비량을 계산한 식이며, 식 (5)는 총 에너지 소비량을 계산한 식이다.

표 2 에너지 소비 공식표

E_T	송신 에너지 소모량
E_R	수신 에너지 소모량
E_S	감지 에너지 소모량
S	감지 노드들의 총 집합
$Neighbor(s)$	노드 s 의 이웃 노드들의 집합
N_{set}	해당 set에 포함되는 노드의 개수
n	감지한 노드들의 총 개수
m	비감지 노드 중에서 경계 노드들의 이웃 노드들의 총 개수

$$E_{sensed} = \sum_{s_i \in Neighbor(s_i)} (E_S + E_T + (E_R \times N_{s_i})), \quad (3)$$

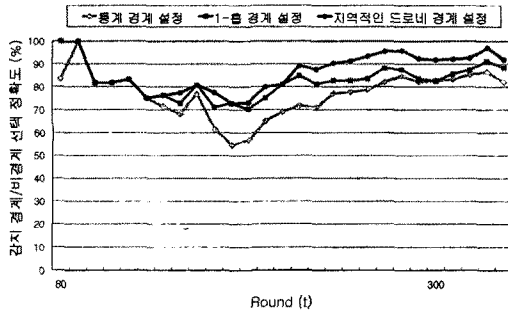
$$E_{nonsensed} = \sum_{s_j \in Neighbor(s_j), s_j \notin S, s_i \in S} (E_S + E_T + (E_R \times N_{s_j})), \quad (4)$$

$$E_{total} = E_{sensed} + E_{nonsensed} \quad (5)$$

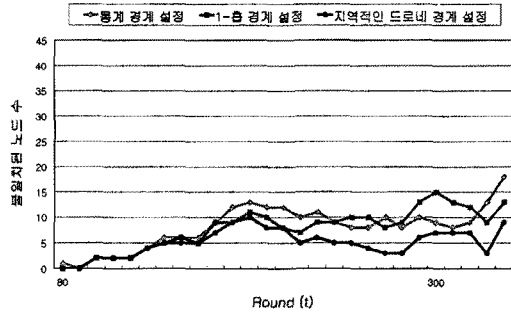
5.3 감지 경계 노드 및 감지 비경계 노드의 선택 정확도 비교

그림 9는 5.1절에서 설명한 이상적인 감지 경계 노드 선택 모델을 기준으로 감지 경계 노드 및 감지 비경계 노드의 선택 정확도와 불일치된 노드의 수를 비교한 것이다. 그림 9(a)에서 실질적으로 연속적인 물체를 감지하기 시작한 Round 80부터 Round 340까지 지역적인 드로네 경계 설정, 1-홉 경계 설정, 통계 경계 설정의 선택 정확도는 각각 평균 88.56%, 84.83%, 73.69%를 보였다. 즉, 지역적인 드로네 경계 설정이 가장 높은 정확도를 보였는데, 이는 그림 9(b)에서 보듯이 불일치된 노드의 수가 적었기 때문이며 이상적인 감지 경계 노드 및 감지 비경계 노드에 가장 근접하게 선택했다는 증거이기도 하다. 하지만 그림 9(a)에서 지역적인 드로네 경계 설정의 정확도 중 90% 이하가 존재하는 이유는 1-홉 이웃 노드의 수가 평균 7.4개로 낮기 때문에 더 정확하게 감지 경계 노드를 선택하지 못했기 때문이다.

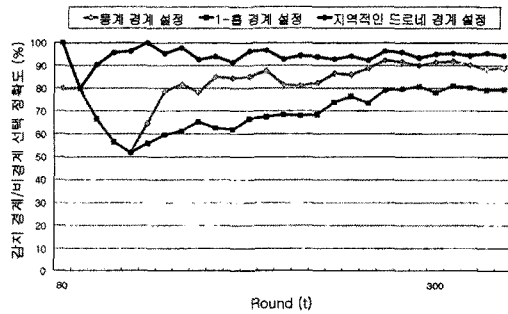
그림 9(c)와 9(e)는 1-홉 이웃 노드의 수를 각각 17.10개, 31.94개로 증가시킨 경우의 선택 정확도를 비교한 것인데, 지역적인 드로네 경계 설정이 평균 94.95%(그림 9(c))로 가장 정확하게 측정된 것을 확인할 수 있으며, 그림 9(e)에서도 평균 93.95%의 가장 높은 정확도를 보였다.



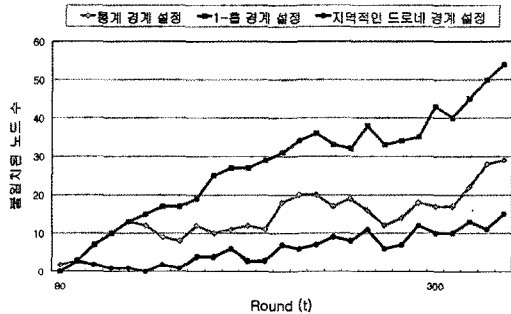
(a) 선택 정확도 (ROI내 노드 수 200개)



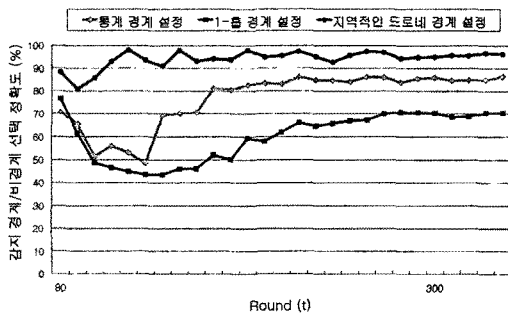
(b) 불일치된 노드 수 (ROI내 노드 수 200개)



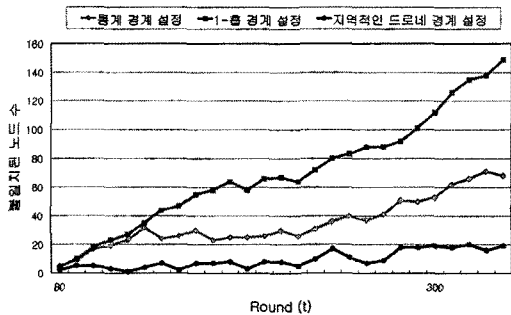
(c) 선택 정확도 (ROI내 노드 수 511개)



(d) 불일치된 노드 수 (ROI내 노드 수 511개)



(e) 선택 정확도 (ROI내 노드 수 1042개)



(f) 불일치된 노드 수 (ROI내 노드 수 1042개)

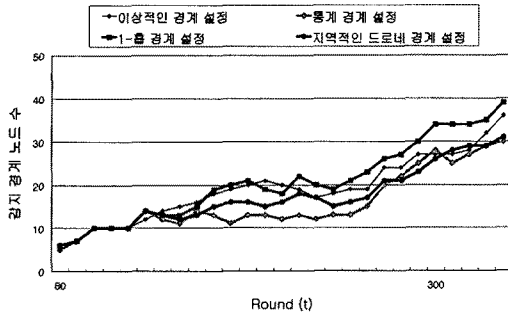
그림 9 감지 경계 노드의 선택 정확도 및 불일치된 노드 수

이렇듯 이웃 노드의 수가 많을수록 지역적인 드로네 경계 설정의 정확도가 높은 이유는 이상적인 선택 모델과 거의 같은 드로네 간선을 생성하기 때문이다. 한편, 이웃 노드의 수가 증가할수록 1-홉 경계 설정의 정확도는 평균 85%에서 64%로 낮아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 그림 9(d)와 9(f)에서 보듯이 불일치되는 노드의 수가 급격히 증가하기 때문이다. 통계 경계 설정에서는 1-홉 이웃 노드의 수에 무관하게 약 80%의 정확도를 보였다.

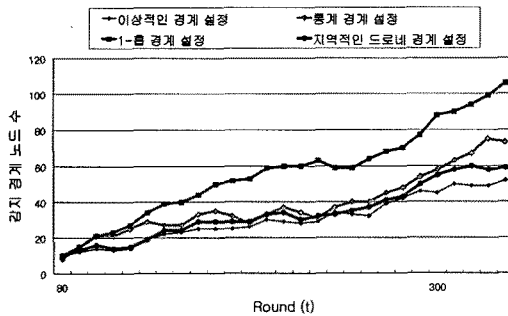
5.4 감지 경계 노드 수 비교

그림 10은 5.3절의 선택 정확도와 마찬가지로의 실험에서 감지 경계 노드로 선택된 센서 노드의 수를 비교한

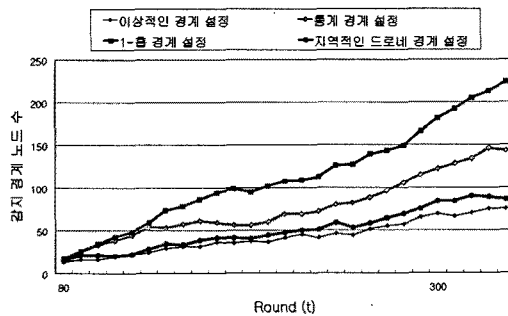
것이다. 그림 10에서 실질적으로 연속적인 물체를 감지한 Round 80부터 Round 340까지를 살펴보면, 지역적인 드로네 경계 설정이 1-홉 경계 설정보다 항상 낮게 분포되어 있다는 것을 알 수 있는데, 그림 10(a), 10(b), 10(c)에서 감지 경계 노드의 수가 각각 평균 18.79%, 40.13%, 54.43% 감소한 것을 확인할 수 있다. 즉, 1-홉 이웃 노드의 수가 증가할수록 1-홉 경계 설정과 더 많은 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 또한, 1-홉 경계 설정은 이상적인 감지 경계 노드보다 더 많은 수의 경계 노드를 선택함을 보였는데, 이는 경계 노드가 두꺼운 띠 형태로 생성되었다는 증거이며 1-홉 이웃 노드의 수



(a) 노드 수 300개 (ROI내 200개)



(b) 노드 수 750개 (ROI내 511개)



(c) 노드 수 1500개 (ROI내 1042개)

그림 10 감지 경계 노드 수 비교

가 증가할수록 더 두껍게 생성된다는 것을 의미한다. 그림 10(a)에서 Round 90부터 Round 340까지는 통계 경계 설정 방법이 지역적인 드로네 경계 설정 방법보다 경계 노드 수가 적지만, 그림 9(a)에서 보듯이 해당 구간에서 정확도가 떨어진 것을 확인할 수 있다.

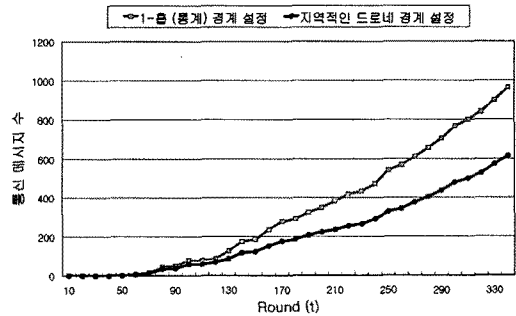
1-홉 이웃 노드의 수를 평균 7.4개에서 17.10개로 증가시킨 그림 10(b)에서 지역적인 드로네 경계 설정이 1-홉 경계 설정과 통계 경계 설정보다 각각 평균 40.13%, 12.67% 경계 노드의 수를 줄였으며, 31.94개로 증가시킨 그림 10(c)에서는 각각 평균 54.43%, 33.91%로 더 많은 차이를 보였다. 또한, 이웃 노드의 수가 증가할수

록 지역적인 드로네 경계 설정이 기존 경계 설정보다 이상적인 경계 노드 수와의 오차가 더욱 더 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

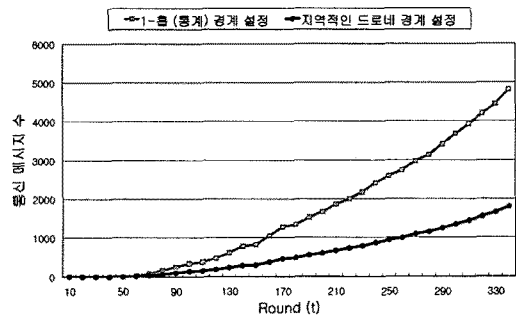
5.3절의 선택 정확도를 비교한 실험과 5.4절의 감지 경계 노드의 수를 비교한 실험의 결과를 종합하면, 지역적인 드로네 경계 설정이 1-홉 이웃 노드의 정보를 이용한 경계 설정 방법보다 더 적은 수의 감지 경계 노드를 이용하면서도 이상적인 경계 설정 모델에 가장 유사한 정확도를 나타냄을 알 수 있다.

5.5 통신 메시지 수 비교

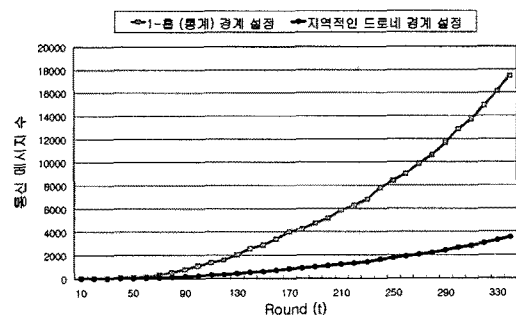
그림 11은 4절에서 설명한 노드의 동작 규칙과 순서



(a) 노드 수 300개 (ROI내 200개)



(b) 노드 수 750개 (ROI내 511개)



(c) 노드 수 1500개 (ROI내 1042개)

그림 11 통신 메시지 수 비교

에 따라 연속적인 물체를 추적하면서 각 Round 별로 송수신되는 통신 메시지의 수를 비교한 것이다. 실험 결과, 1-홉 이웃 노드의 정보를 이용한 1-홉 경계 설정과 통계 경계 설정의 통신 메시지 수는 항상 같게 나타났다. 지역적인 드로네 경계 설정의 경우, 그림 11(a)에서 통신 메시지 수가 1-홉(통계) 경계 설정보다 평균 34.45% 감소되었다. 그 이유는 이웃 노드의 감지 여부를 확인하기 위하여 송수신되는 메시지가 이웃 노드 수의 차이로 인하여 더 적게 발생하기 때문이다.

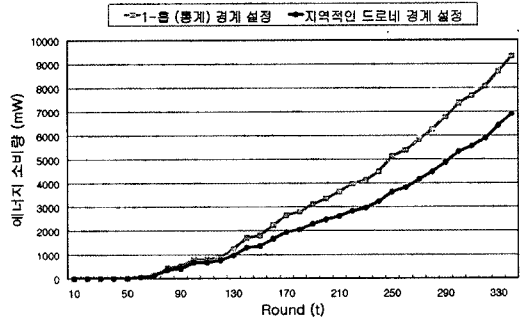
이러한 차이는 1-홉 이웃 노드의 수가 증가할수록 더 크게 나타나는데, 그림 11(b)와 11(c)에서는 통신 메시지 수가 각각 평균 62.33%, 79.36% 크게 감소되는 것을 확인할 수 있다. 그림 11(a), 11(b), 11(c)에서 1-홉(통계) 경계 설정의 1-홉 이웃 노드의 수는 각각 평균 7.38개, 17.10개, 31.94개인 반면, 지역적인 드로네 이웃 노드의 수는 각각 평균 4.40개, 5.79개, 5.98개로 크게 적었다.

5.6 에너지 소비량 비교

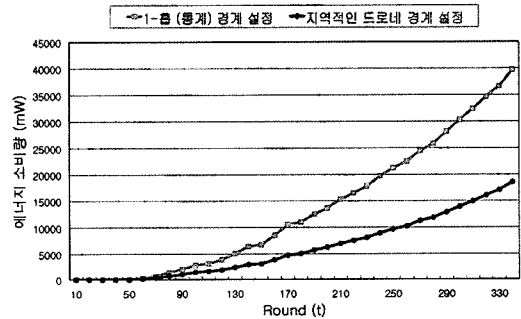
그림 12는 5.2절에서 설명한 에너지 소비 공식에 의해 각 Round 별로 에너지 소비량을 비교한 것이다. 에너지 소비량의 차이도 결국 이웃 노드의 수의 차이에 기인하기 때문에, 에너지 소비량이 증가하는 형태가 5.5절의 통신 메시지 수 실험 결과와 유사한 행태를 보였다. 즉, 이웃 노드의 수가 증가할수록 더 많은 통신 메시지의 차이로 인하여 에너지 소비량의 차이도 증가하였다. 그림 12(a)에서 보듯이 1-홉(통계) 경계 설정 방법과 지역적인 드로네 경계 설정 방법의 에너지 소모 차이를 비교한 결과, 평균 24.79%, 최대 29.28% 에너지 소비량이 향상됨을 보였다. 그림 12(b)와 12(c)에서는 각각 평균 52.72%, 72.34%, 최대 54.89%, 73.29% 에너지 소비량이 향상됨을 보였다.

6. 현장실험 및 분석

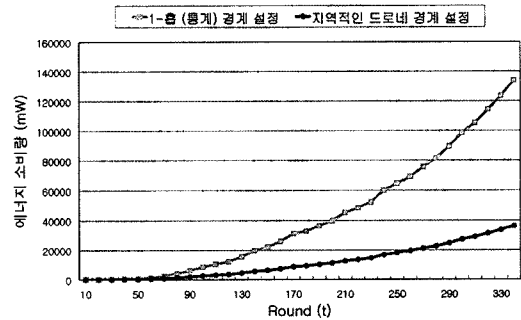
본 논문에서 제안한 지역적인 드로네 경계 설정 방법의 실질적인 효과를 측정하기 위해 MICAz mote를 이용하여 현장실험을 수행하였다. 현장실험을 위해 다양한 토폴로지를 고려하였고, 그 중 기존 연구와의 차이를 가장 잘 보여줄 수 있는 최선의 토폴로지를 선택하여 그림 13(a)와 같이 27개의 MICAz mote를 7.5m×6m의 사각 공간에 1.5m간격으로 조밀하게 배치하였다. 이와 같은 배치에서 지역적인 드로네 경계 설정 방법에서는 지역적인 드로네 이웃 노드들 간에 그림 13(b)와 같은 mesh 네트워크를 구성하게 된다. 이 때, 센서의 전송 범위는 3m와 4.5m로 설정하여 실험하였는데, 동일한 크기의 네트워크 공간에서 센서의 전송 범위를 변화시킴으로써 1-홉 이웃 노드의 수(조밀도)의 변화에 따른



(a) 노드 수 300개 (ROI내 200개)



(b) 노드 수 750개 (ROI내 511개)

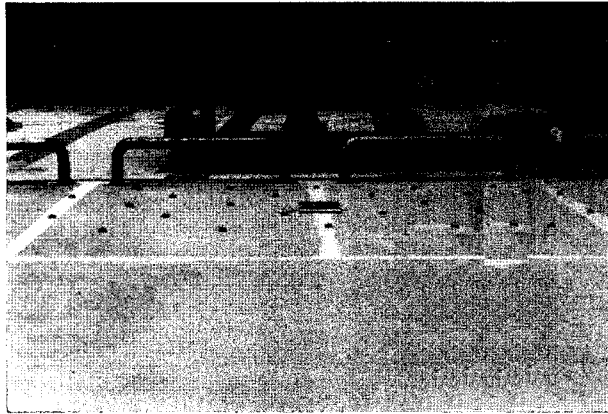


(c) 노드 1500개 (ROI내 1042개)

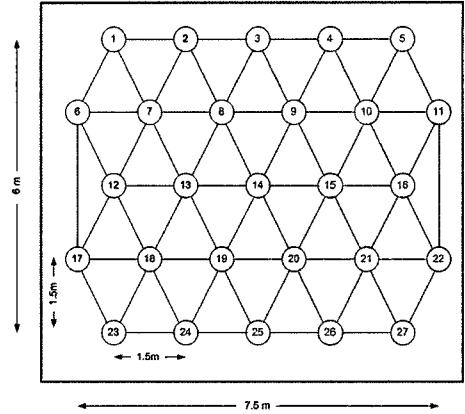
그림 12 에너지 소비량 비교

감지 경계 노드와 감지 비경계 노드의 변화를 실험할 수 있다. 센서로는 MTS310 모듈을 사용하였는데, MTS310 모듈은 조도와 온도를 감지할 수 있는 장비로서 MICAz mote에 직접 장착하였다. 본 논문의 현장실험에서는 연속적인 물체를 표현하기 위해 임의로 그림자를 형성하였고, 이 그림자를 MTS310 모듈의 조도감지 기능을 이용하여 감지하는 방식으로 실험하였다.

그림 14는 그림 13과 같은 네트워크 환경에서 임의로 그림자를 형성하였을 경우, 1-홉 경계 설정 방법(전송 범위 3m)과 지역적인 드로네 경계 설정 방법의 경계 노드 설정 결과를 비교한 예이다. 그림 14(a)의 1-홉 경

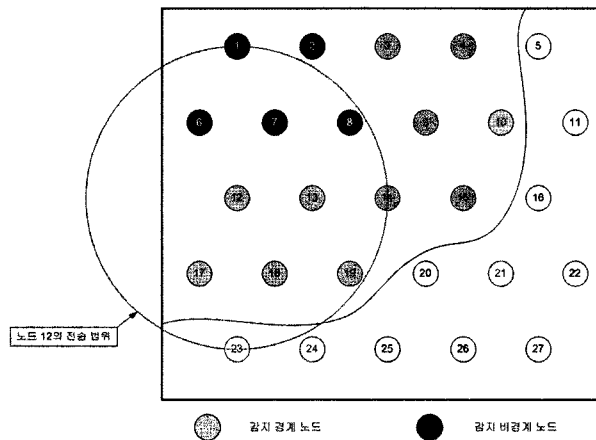


(a) MICAz mote의 실의 배치 (27개)

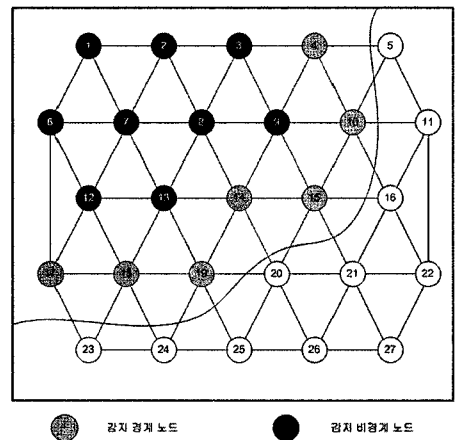


(b) MICAz mote의 mesh 네트워크

그림 13 현장실험 환경



(a) 1-홉 경계 설정(3m)



(b) 지역적인 드로네 경계 설정

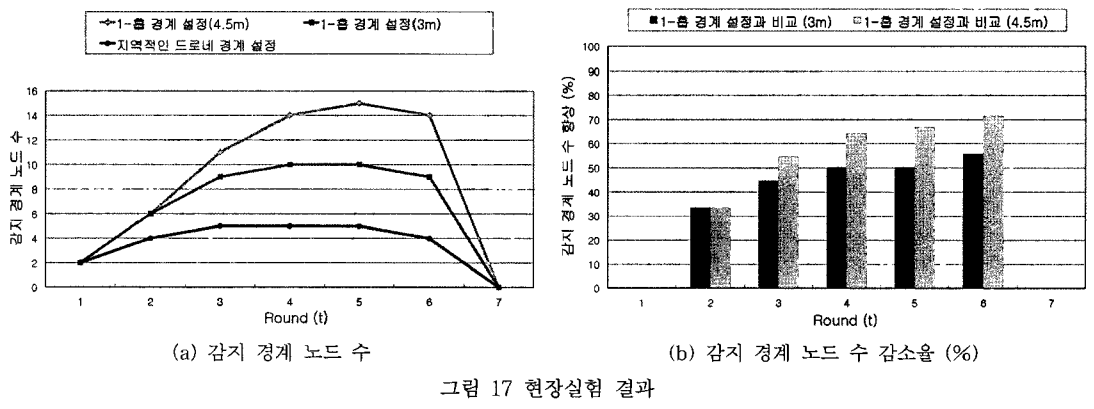
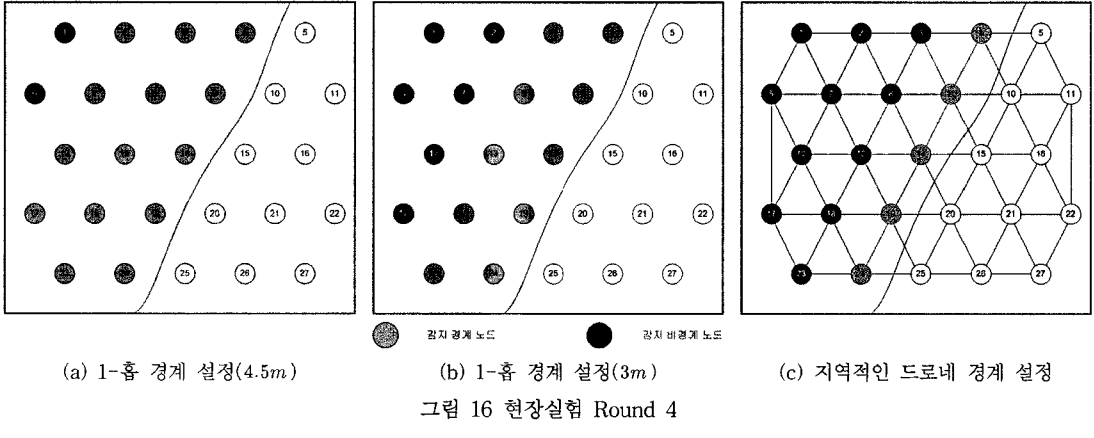
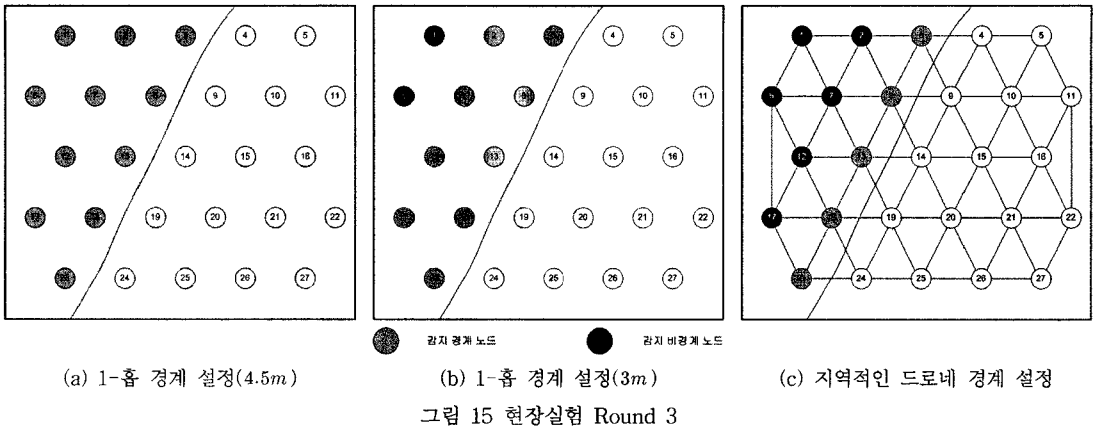
그림 14 현장실험 방식

계 설정에서는 노드 12번이 반경 3m 내에 있는 모든 센서 노드들에게 문의를 함으로써 노드 23번에 의해 감지 경계 노드로 선택된 반면, 그림 14(b)의 지역적인 드로네 경계 설정에서는 노드 6번, 7번, 13번, 17번, 18번에게만 문의하여 감지 비경계 노드로 설정되었다. 1-홉 경계 설정에서는 노드 3번, 9번, 13번도 마찬가지로 감지 경계 노드로 선택되며, 그림 14에서 보듯이 1-홉 경계 설정이 지역적인 드로네 경계 설정보다 더 많은 감지 경계 노드가 형성되는 것을 확인할 수 있다.

실제 현장실험에서는 그림 13과 같은 네트워크 환경에서 연속적인 물체(그림자)를 왼쪽 위부터 오른쪽 아래 방향으로 점차 확장시켰으며, 노드 1번과 6번이 감지하기 시작한 Round 1부터 모든 센서 노드들이 감지하는 Round 7까지 실험하였다. 그림 15는 Round 3의 실험 결과로서, 그림 15(a)와 15(b)의 1-홉 경계 설정의 경

우, 전송 범위가 4.5m일 경우에는 모든 센서 노드가 감지 경계 노드로 선택된 반면 전송 범위가 3m일 경우에는 노드 1번과 6번만이 감지 비경계 노드로 선택되었다. 이렇게 전송 범위가 4.5m일 경우에 감지 경계 노드가 더 많이 선택되는 이유는 1-홉의 전송 범위가 더 길기 때문에 더 많은 센서 노드가 비감지 노드를 1-홉 이웃 노드로 갖기 때문이다. 하지만 그림 15(c)의 지역적인 드로네 경계 설정에서는 전송 범위에 상관없이 항상 동일한 결과를 보였다. 이렇게 동일하게 감지 경계 노드가 선택되는 이유는 전송 범위가 3m에서 4.5m로 증가하더라도 지역적인 드로네 이웃 노드들에는 변화가 없기 때문이다. 그림 16은 Round 4의 실험 결과이며 Round 3과 비슷한 결과를 보였다.

그림 17은 Round 1부터 Round 7까지의 실험에 대하여 감지 경계 노드 수의 변화를 통계 낸 것이다. 실험 결



과, 모든 센서 노드들이 감지하기 전인 Round 6까지 드로네 경계 설정 방법이 1-홉 경계 설정보다 항상 적은 수의 감지 경계 노드를 선택하였는데, 센서의 전송 범위가 3m와 4.5m일 때 각각 평균 38.89%와 48.38%의 감소를 보였다. 현장실험에서 에너지 소비량을 실제 측정하지는 않았으나, 지역적인 드로네 경계 설정 기법의 에너지 소비량의 감소는 결국 이웃 노드 및 경계 노드 수의 감소에

기인하므로 현장실험으로 보인 이웃 노드 및 경계 노드 수의 감소로 에너지 소모량 감소를 유추할 수 있다.

7. 결론

본 논문은 산불, 지진, 독가스 등 같이 연속적인 성질을 가진 물체의 경계를 측정하는 방법으로 지역적인 드로네 삼각기법을 이용하였다. 즉, 지역적인 드로네 삼각

기법을 이용하여 경계 노드를 설정하면 기존 1-홉을 이용하여 경계 노드를 설정하는 방법보다 같은 정확도를 유지하면서 더 적은 수의 감지 경계 노드를 선정할 수 있다.

모의실험에서 연속적인 물체는 임의의 방향으로 점차 증가시키면서 연속적인 물체의 정확도, 감지 경계 노드의 수, 통신 메시지 수, 에너지 소비량에 대하여 각각 비교하였으며, ROI내 센서 노드의 수를 약 200개, 500개, 1000개로 증가시켜 이웃 노드의 수에 따른 경계 노드 수의 변화를 측정하였다. 실험 결과, 이웃 노드의 수가 증가할수록 더 좋은 성능을 보였는데, 드로네 이웃 노드의 수가 평균 5.98개일 때, 1-홉(통계) 경계 설정 방법보다 더 높은 정확도를 보이면서도 경계 노드의 수를 평균 54.43% 줄였으며, 통신 메시지 수와 에너지 소비량도 평균 79.36%, 72.34%로 줄었다. 또한, MICAz mote를 이용하여 감지 경계 노드 수를 비교한 현장실험에서 센서의 전송 범위가 4.5m일 때 1-홉 경계 설정 방법보다 평균 48.38%의 성능 향상을 보였다.

향후 연구과제로서 동일한 연속적인 물체뿐 아니라 여러 가지 다른 물체가 감지되었을 경우 각각을 구분하는 방법과 새들의 집단 서식지나 군인들의 집단 이동과 같이 비연속적이지만 군을 형성하는 집단의 경계를 추적하는 연구를 진행할 것이다. 또한, 본 논문에서는 연구 범위를 정적 네트워크 토폴로지로 한정하였으나, 센서의 결함 등으로 인한 네트워크 토폴로지 동적 변화를 고려하여 실제 연속적인 물체의 형태와 가장 근접한 형태를 유추하는 방법에 대해서도 향후 연구과제로 남긴다.

참 고 문 헌

- [1] Ji, X., Zha, H., Metzner, J. J., and Kesidis, G., "Dynamic Cluster Structure for Object Detection and Tracking in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks," in *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Communications*, vol.7, pp. 3807-3811, 2004.
- [2] Chintalapudi, K. K. and Govindan, R., "Localized Edge Detection in Sensor Fields," in *Proceedings of the 1st IEEE Sensor Network Protocols and Applications*, pp.59-70, 2003.
- [3] Chang, W.-R., Lin, H.-T., and Cheng, Z.-Z., "CODA: A Continuous Object Detection and Tracking Algorithm for Wireless Ad Hoc Sensor Networks," in *Proceedings of the 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, pp.168-174, 2008.
- [4] Fang, Q., Gao, J., and Guibas, L. J., "Locating and Bypassing Routing Holes in Sensor Networks," *Mobile Networks and Applications*, vol.11, no.2, pp.187-200, 2006.
- [5] Zhang, C., Zhang, Y., and Fang, Y., "Detecting Coverage Boundary Nodes in Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, pp.868-873, 2006.
- [6] Zhang, C., Zhang, Y., and Fang, Y., "Localized Algorithms for Coverage Boundary Detection in Wireless Sensor Networks," *Wireless Networks*, vol.15, no.1, pp.3-20, 2009.
- [7] Savvides, A., Han, C. C., and Strivastava, M. B., "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors," in *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.166-179, 2001.
- [8] Moore, D., Leonard, J., Rus, D., and Teller, S., "Robust Distributed Network Localization with Noisy Range Measurements," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.50-61, 2004.
- [9] Cheng, X., Thaeler, A., Xue, G., and Chen, D., "TPS: A Time-Based Positioning Scheme for Outdoor Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of the 23rd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies*, vol.4, pp.2685-2696, 2004.
- [10] Maroti, M., Kusy, B., Simon, G., and Ledeczi, A., "The Flooding Time Synchronization Protocol," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.39-49, 2004.
- [11] Werner-Allen, G. and Tewari, G., "Firefly-Inspired Sensor Network Synchronicity with Realistic Radio Effects," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.142-153, 2005.
- [12] Ganeriwal, S., Kumar, R., and Strivastava, M. B., "Timing-Sync Protocol for Sensor Networks," in *Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.138-149, 2003.
- [13] Intanagonwivat, C., Gobindan, R., Estrin, D., and Heidenmann, J., "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.11, no.1, pp.2-16, 2003.
- [14] He, T., Krishnamurthy, S., Stankovic, J. A., and Abdelzaher, T., "Energy-Efficient Surveillance System Using Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, pp. 270-283, 2004.



장 상 옥

2002년 홍익대학교 수학교육과 졸업. 2009
년 홍익대학교 컴퓨터공학과 석사. 관심
분야는 Ad-hoc 센서 네트워크

한 주 선

정보과학회논문지 : 정보통신
제 36 권 제 4 호 참조

하 란

정보과학회논문지 : 정보통신
제 36 권 제 4 호 참조