

# 센서 네트워크에서 연속적인 개체 추적을 위한 동적 직사각형 영역 기반 협동 메커니즘 (Dynamic Rectangle Zone-based Collaboration Mechanism for Continuous Object Tracking in Wireless Sensor Networks)

박 보 미 <sup>†</sup>                      이 의 신 <sup>†</sup>  
(Bomi Park)                      (Euisin Lee)

김 태 희 <sup>†</sup>                      박 호 성 <sup>†</sup>  
(Taehee Kim)                      (Hosung Park)

이 정 철 <sup>†</sup>                      김 상 하 <sup>\*\*</sup>  
(Jeongcheol Lee)                      (Sang-Ha Kim)

**요 약** 센서 네트워크에서 개체 검출과 추적에 관한 기존 라우팅 프로토콜들은 사람, 동물, 차량 등과 같은 하나 또는 그 이상의 단일(individual) 개체들에 대한 검출과 추적을 하기 위한 방법에만 관심을 가질 뿐, 독가스, 생화학 물질 등과 같은 연속적인 개체들을 검출하고 추적하는 프로토콜들은 많지 않다. 이러한 연속적인 개체들은 어느 지역에 계속적으로 분산되어 있고, 광범위한 지역을 차지한다

는 점에서 단일 개체들과 차이가 있다. 따라서 많은 센서 노드들에 의해 검출되고 센싱되는 데이터들은 중복적이고 서로 깊이 관련되어 있다. 그러므로 지역적으로 센싱 데이터를 수집하고 통합하여 데이터를 보고하기 위한 효율적인 방안이 필요하다. 본 논문에서 우리는 연속적인 개체들을 검출, 추적하고 모니터링(monitoring)하기 위한 동적인 직사각형 영역에 기반한 연속적인 개체 추적 방안을 제안한다. 제안된 방안은 하나의 연속된 개체가 차지한 지역이 포함된 동적인 직사각형 영역을 구성하고, 영역에서 하나의 대표 노드가 연속된 개체를 검출하는 센서 노드들로부터 센싱 데이터를 수집하고 통합한다.

**키워드** : 무선 센서 네트워크, 연속적인 개체, 확산, 직사각형 영역

**Abstract** Most existing routing protocols for object detection and tracking in wireless sensor networks concentrate on finding ways to detect and track one and more individual objects, e.g., people, animals, and vehicles, but they do not be interested in detecting and tracking of continuous objects, e.g., poison gas and biochemical. Such continuous objects have quite different properties from the individual objects since the continuous objects are continuously distributed across a region and usually occupy a large area. Thus, the continuous objects could be detected by a number of sensor nodes so that sensing data are redundant and highly correlated. Therefore, an efficient data collection and report scheme for collecting and locally aggregating sensing data is needed. In this paper, we propose the Continuous Object Tracking Mechanism based on Dynamic Rectangle Zone for detecting, tracking, and monitoring the continuous objects taking into account their properties.

**Key words** : Wireless sensor networks, Continuous object, Diffusion, Dynamic rectangle zone

\* 이 논문은 제35회 추계학술대회에서 '센서 네트워크에서 연속적인 개체 추적을 위한 동적인 직사각형 영역에 기반한 협동 메커니즘'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것이다

<sup>†</sup> 학생회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과  
limeade79@cnu.ac.kr  
eslee@cclab.cnu.ac.kr  
thkim@cclab.cnu.ac.kr  
hspark@cclab.cnu.ac.kr  
jcleec@cclab.cnu.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수  
shkim@cnu.ac.kr  
(Corresponding author)

논문접수 : 2009년 1월 19일  
심사완료 : 2009년 5월 23일

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: 컴퓨팅의 실제 및 데이터 제15권 제8호(2009.8)

## 1. 서 론

MEMS 기술의 발전으로 다양한 어플리케이션 분야를 위해 무선 센서 네트워크가 개발되어 왔다. 무선 센서 네트워크는 온 보드 프로세싱과 무선 통신 능력을 갖는 센서들과 액추에이터(actuator)들을 통합하는 작은 저전력 장치들을 포함한다. 수천 개의 작은 센서들은 정확한 센싱 데이터를 얻기 위해 광대한 필드(field) 상에 분산되어 있다[1].

센서 네트워크에서 한가지 전형적인 어플리케이션 시나리오는 개체 검출과 추적이다. 센서 네트워크에서 기존 라우팅 프로토콜들은 사람, 동물, 차량과 같은 하나 또는 여러 개의 단일 개체들을 검출하고 추적[2-3] 하는데 집중할 뿐, 독가스, 생화학 물질 등과 같은 연속적인 개체들을 검출하고 추적하는 방법에 대한 관심은 많지 않다. 이러한 연속적인 개체들은 어느 지역에 계속적으

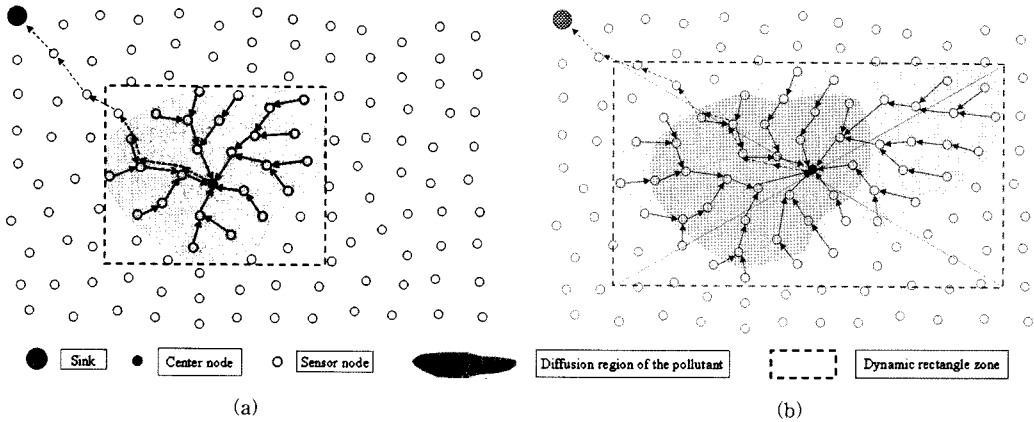


그림 1 동적인 직사각형 영역을 통한 연속적인 개체의 추적 예시 (a) 연속적인 개체의 출현 후 동적인 직사각형 영역의 구성과 대표 노드의 선택 (b) 연속적인 개체의 확산 후 동적인 직사각형 영역의 재구성과 대표 노드의 재선택

로 분산되어 있고, 광범위한 지역을 차지한다는 점에서 단일 개체들과 차이가 있다[4]. 따라서 많은 센서 노드들에 의해 검출되고 센싱된 데이터들은 중복적이고 서로 깊은 관련이 있다. 그러므로 지역적으로 센싱 데이터를 수집하고 통합하여 데이터를 보고하기 위한 효율적인 방안이 필요하다. 연속적인 개체들은 확산되고, 형태가 변하거나 크기가 증가할 수도 있고 여러 개의 작은 연속된 개체들로 분리 혹은 하나의 개체로 합쳐질 수도 있다[4]. 따라서, 연속적인 개체 형태의 동적인 변화를 효율적으로 다루기 위한 효과적인 방안이 필요하다.

본 논문에서 우리는 연속적인 개체들을 검출, 추적하고 모니터링 하기 위한 동적인 직사각형 영역에 기반한 연속적인 개체 추적 방안을 제안한다. 그림 1(a)는 연속된 개체를 어떻게 추적하는지를 보여준다. 연속적인 개체가 발생할 때, 센서 노드들은 영역의 가장 가운데에 위치한 대표 노드를 선택하기 위해 서로 협력한다. 대표 노드는 영역에 있는 모든 센서 노드들에게 자신의 위치를 알리고, 센서 노드들로부터 데이터를 수집한다. 연속적인 개체들의 형태가 바뀌면, 동적인 직사각형 영역도 새롭게 구성되고, 대표 노드는 그림 1(b)와 같이 센싱 데이터를 모을 때의 에너지 소비를 최소화하기 위해 다른 노드들에게 알린다.

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성되었다. 2장에서 개체를 검출하고 추적하는 것과 관련된 연구를 살펴보고, 3장에서는 연속적인 개체를 검출하고 추적하기 위해 제안한 방안을 자세히 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 방안의 성능을 평가하고 5장에서 결론을 정리한다.

## 2. 관련 연구

센서 네트워크 분야에서 차량, 동물 등과 같은 하나

또는 여러 개의 단일 개체들을 검출하고 추적하는 것에 대한 많은 연구가 있었다[2,3]. 그러나 지금까지는 개체와 가까운 하나의 노드를 통한 개체 추적만이 제안되었고, 노드들 사이에 협력을 통한 개체 검출 방법에 대해서는 고려되지 않았다. 센서 네트워크에서 센서 노드들은 하나의 개체를 검출하기 때문에 센싱된 데이터들은 중복될 수 있으므로, Zhang et al.[3]는 개체 주위의 여러 노드들의 협동 방안을 제안하였다. 그러나 이러한 연구[2,3]는 무선 센서 네트워크에서 독성가스, 생화학 물질 등과 같은 연속적인 개체들을 검출하고 추적하는 것에 대해서는 고려되지 않았다. 최근에 독성 가스, 생화학 물질 등과 같은 연속적인 개체들에 대한 검출과 추적에 관한 몇몇 연구가 제안되었다[4,5]. Chintalapudi et al.[5]는 고정된(static) 연속적인 개체들만을 고려하였고, Ji et al.[4]은 확산되는 동적인 연속적인 개체들에 대해 고려하였다. 그러나 이들 연구는 연속적인 개체들의 경계에만 관심을 가질 뿐, 오염 정도, 평균 온도 등과 같은 세부 정보들에 대해서는 다루어지지 않았다. 그러므로 단지 경계를 추적하는 것뿐만 아니라 연속적인 개체들의 세부 정보에 대해서도 수집할 필요가 있다.

## 3. 동적인 직사각형 영역에 기반한 연속적인 개체 추적 방안

우리는 (1) 동적인 직사각형 영역의 구성, (2) 연속적인 개체의 확산, (3) 연속적인 개체들의 병합인 세 단계로 구성되는 방안을 설명한다. 제안된 방안은 모든 센서 노드들이 GPS 신호를 수신받거나 [6]과 같은 방안을 통해 자신의 위치를 알고 있다고 가정한다.

### 3.1 동적인 직사각형 영역의 구성

센서 노드들이 연속적인 개체를 검출할 때, 대표 노드

로 동작할 하나의 노드를 선출한다. 우리는 임계값 에너지 이상의 센서 노드들 사이에서 가장 중심 노드를 대표 노드로 선택하는 간단한 알고리즘을 설명한다. 선택 기준은 다음 두가지 이유에 기반한다. 첫째, 만약 대표 노드가 연속적인 개체가 차지하고 있는 영역에서 지리적인 중심이면, 영역 내 센서 노드들로부터 대표 노드들까지 지리적으로 짧은 거리에 존재하고 데이터 수집 동안 적은 에너지 소비를 가진다. 둘째, 대표 노드는 영역 내 모든 센서 노드들로부터 데이터를 모으는 역할을 하는데, 이는 다른 센서 노드들보다 더 많은 에너지를 소비하게 되므로, 역할 수행을 위해 임계값 이상의 에너지가 필요하다.

각 노드  $i$ 가 연속적인 개체를 검출할 때, 노드의 에너지가 임계값 이상인지 아닌지를 판단하여, 임계값 이상이면, 그 노드는 대표 노드의 후보가 되고 다른 노드들이 연속적인 개체를 검출할 수 있도록 자신의 노드 위치, 에너지, 자신의 id를 포함하는 선출 메시지를 플러딩(flooding)한다. 그러나, 임계값을 넘지 않으면, 선출에 참가하지 않는다. 각 대표 노드 후보  $i$ 가 다른 대표 노드 후보들로부터 선출 메시지들을 받을 때, 모든 거리 합이 가장 작은지 아닌지를 계산하고, 가장 작으면 그 노드가 대표 노드가 되고, 그렇지 않으면, 후보를 포기한다. 결국 다른 대표 노드 후보들은 포기하고, 가장 작은 거리 합을 갖는 노드가 대표 노드가 된다. 대표 노드가 선출되면, 다른 센서 노드들은 위치 기반 라우팅을 통해 대표 노드에게 데이터를 보낸다.

### 3.2 연속적인 개체의 확산

개체는 움직이거나 확산되기 때문에 목표 지역의 이웃 센서 노드들이 새로운 소스 노드가 되는 경우를 고려한다. 따라서, 이들 소스 노드들로부터 받은 데이터를 대표 노드가 수집하는 것이 더 에너지 효율적이다. 그러나, 소스 노드들은 대표 노드의 존재를 알지 못하기 때문에 데이터를 글로벌 싱크에게 전송한다. 우리는 새로운 소스 노드들이 대표 노드의 존재와 위치를 알고 대표 노드로 데이터를 보내는 간단한 방안을 제시한다. 목표 지역에 있는 소스 노드는 대표 노드에게 데이터가 전달될 수 있도록 하기 위해 전송 반경 내에 있는 다음 홉의 센서 노드에게 데이터를 전송한다. 다음 홉의 센서 노드도 역시 그 다음 홉의 센서 노드를 향해 데이터를 보낸다. 반면, 소스 노드의 전송 반경 내에 있는 다른 센서 노드들은 소스 노드의 데이터 패킷을 받아서 이벤트의 정보와 대표 노드의 위치를 알 수 있다. 그러므로, 목표 지역의 이웃 센서 노드들은 이벤트를 검출하면, 대표 노드로 데이터를 전달하게 된다. 연속적인 개체의 확산 시, 새로운 소스 노드들이 확산 영역에 포함되고, 대표 노드는 더이상 동적인 영역내의 중심이 아닐 수 있

다. 센서 노드들이 데이터 수집을 위한 에너지를 줄이기 위해, 영역은 재구성되어야 하고 대표 노드가 확산 지역의 중심과 가장 가까운 노드로 대체되어야 한다. 소스 노드의 데이터 내에 포함된 위치 정보를 통해, 대표 노드는 그림 1(b)와 같이 연속적인 개체가 차지하고 있는 확산 영역의 동적인 직사각형 영역을 재구성한다. 직사각형 영역은 가장 바깥쪽 네 지점에 위치하고 있는 센서 노드들에 의해 구성된다. 대표 노드는 직사각형 영역 내의 두 대각선의 교차점을 선택한다. 기존 대표 노드는 교차점에 가장 가까운 소스 노드에게 새로운 대표 노드의 선택을 통보하기 위한 대표 노드 선택 메시지를 보내고, 대표 노드 선택 메시지를 받은 새로운 대표 노드는 지오캐스팅 프로토콜을 이용하여 새로운 소스 노드들이 포함된 직사각형 영역 내에 자신의 위치를 광고(advertising)하기 위한 대표 노드 알림 메시지를 전송한다. 대표 노드 알림 메시지를 받은 소스 노드들은 데이터를 새로운 대표 노드에게 전송하게 된다. 연속적인 개체의 확산으로 인해 대표 노드가 변함으로써, 효율적으로 소스 노드들로부터 데이터를 수집할 수 있다.

### 3.3 연속적인 개체들의 병합

두 가지 연속적인 개체들이 만났을 때, 결합되는 특성 때문에 개체들은 하나의 연속적인 개체로 합쳐진다. 예를 들어 물 오염과 공기 오염 같은 두가지 연속적인 개체들이 만나면, 결합되어 하나의 개체로 변한다.

우리는 다수의 연속적인 개체들의 결합으로 인해 발생하는 확산 영역을 하나로 만들고, 효율적으로 데이터를 모으기 위한 대표 노드의 최적 위치 결정 방안을 제안한다. 소스 노드가 어떤 연속적인 개체를 센싱하는 동안 다른 연속적인 개체를 검출하게 되면, 그 노드는 각 연속적인 개체에 속하고, 각각의 대표 노드와 연결된다. 소스 노드는 자신의 위치와 더 가까운 대표 노드  $s_1$ 에게 두 연속적인 개체들의 결합을 알리기 위해 대표 노드  $s_2$ 의 위치 정보를 포함하는 메시지를 보낸다. 메시지를 받은  $s_1$ 은 동적인 직사각형 영역의 위치 정보를  $s_2$ 로 보낸다. 위치 정보를 받은  $s_2$ 는 자신과 상대방 직사각형 영역의 두 연속적인 개체들이 포함된 하나의 새로운 직사각형 영역을 구성하고, 두 대각선의 교차점을 대표 노드의 새로운 위치로 선택하게 된다.  $s_2$ 는 교차점과 가장 가까운 소스 노드로 새로운 대표 노드의 선택을 통보하기 위해 새로운 직사각형 영역의 위치 정보가 포함된 대표 노드 선택 메시지를 보낸다. 대표 노드 선택 메시지를 받은 새로운 대표 노드는 지오캐스팅 프로토콜을 이용하여 영역 내에 자신의 위치를 광고하기 위한 대표 노드 알림 메시지를 전송한다. 연속적인 개체의 결합으로 인해 직사각형 영역을 결합하고 하나의 새로운 대표 노드를 선택함으로써, 새로운 동적인 직사각형 영

역은 에너지 관점에서 효율적으로 모든 소스 노드들의 데이터를 모을 수 있다.

4. 성능 분석

우리는 이번 장에서 시뮬레이션(simulation)을 통해 제안된 방안의 성능을 분석한다.

4.1 시뮬레이션 모델과 성능 분석 메트릭(metric)

퀄넷(QualNet) 시뮬레이터[7]로 제안된 프로토콜을 구현한다. 센서 노드의 전송과 수신 전력 소비율은 각각 42mW와 29mW이고, 장치 파라미터들은 대부분 MICA 명세서[8]를 참고로 선택된다. 전송 반경과 센싱 반경은 각각 150m, 10m이다. 센서 네트워크는 500개의 센서 노드들로 구성되고, 1000m × 1000m 필드에 균일하게 배치되어 있다. 우리는 두 연속적인 개체들의 형태를 직사각형과 타원으로 시뮬레이션 한다. 직사각형은 폭 20m, 높이 10m로 초기화되고, 폭과 높이는 10초 간격으로 5m씩 증가한다. 타원은 최대 축은 20m, 최소 축은 10m로 초기화되고, 최대 축과 최소 축은 10초 간격으로 5m 증가한다. 두 연속적인 개체들은 5m/s의 속도로 움직이고, 얼마 후 하나의 개체로 병합한다. 시뮬레이션은 100초 동안 지속된다.

우리는 성능 평가를 위해 세가지 메트릭을 사용한다. 전체 에너지 소비는 네트워크가 소비하는 통신 에너지로 정의된다. 경계의 정확성은 대표 노드까지 전달되는 센싱 데이터에 의해 구성된 경계와 연속적인 개체의 실제 경계 사이의 수적인 등가(equivalence)로 정의된다. 세부 정보의 정확성은 대표 노드까지 전달되는 데이터에 포함된 세부 정보의 평균값과 연속적인 개체를 검출하는 소스 노드들이 발생시킨 데이터에 포함된 세부 정보의 평균값 사이의 수적인 등가로 정의된다.

우리는 제안된 방안인 Dynamic Rectangle Zone-based Collaboration mechanism(DRZC)을 기존의 방

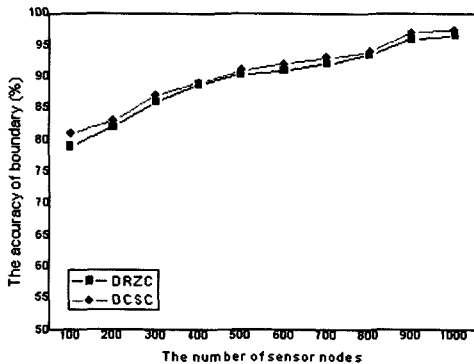
안[4]인 Dynamic Cluster Structure-based Collaboration mechanism(DCSC)와 비교한다.

4.2 노드 밀도(density)의 영향

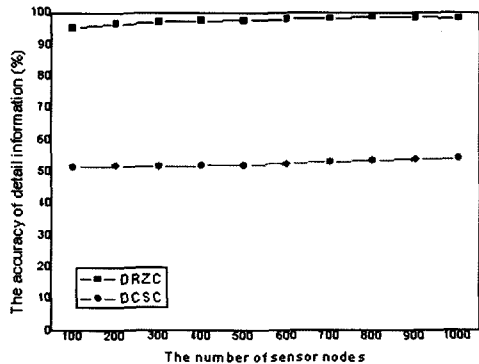
제안된 방안의 성능에 노드 밀도가 어떤 영향을 미치는지 평가한다. 기본 설정으로는 100개의 노드들 간격으로 센서 노드들의 수를 100에서 1000까지 다양화한다. 그림 2(a)는 경계의 정확성을 보여준다. 만약, 센서 노드의 수가 증가하면, 연속적인 개체를 검출하는 센서 노드들이 개체에 더 가까이 위치하게 된다. 그러므로, DRZC와 DCSC에서 경계의 정확성은 센서 노드들의 수와 함께 증가한다. 그러나, DCSC는 경계 센서 노드들을 선택하기 위해 더 복잡한 방법을 사용하기 때문에 DCSC의 정확성은 DRZC의 정확성보다 높다. 그림 2(b)는 세부 정보의 정확성을 보여준다. DRZC의 대표 노드는 연속적인 개체의 세부 정보를 포함하는 센싱 데이터를 더 많이 모을 수 있기 때문에, 더 정확한 세부 정보를 만든다. 그러나, DCSC는 세부 정보를 고려하지 않기 때문에, 연속적인 개체 내의 센서 노드들로부터 세부 정보를 포함하는 센싱 데이터를 수집하지 않는다. 그러므로, DCSC에서는 경계 센서 노드들로부터 세부 정보를 포함하는 센싱 데이터를 이용하여 자신들의 세부 정보를 만들기 때문에 세부 정보의 정확성은 매우 낮다.

4.3 연속적인 개체들의 확산 속도의 영향

연속적인 개체들의 확산 속도가 제안된 방안의 성능에 어떤 영향을 미치는지에 대해 평가한다. 기본 설정으로는 1m/s의 간격으로 1에서 10까지 연속적인 개체의 평균 확산 속도를 다양화한다. 그림 3(a)는 경계의 정확성을 보여준다. 연속적인 개체의 평균 확산 속도가 증가할지라도, 제안된 방안은 동적인 직사각형 영역을 빠르게 재구성하므로, 제안된 방안에서 대표 노드는 연속적인 개체의 경계에서 거의 데이터 손실 없이 센싱 데이터를 수집한다. 그림 3(b)는 세부 정보의 정확성을 보여

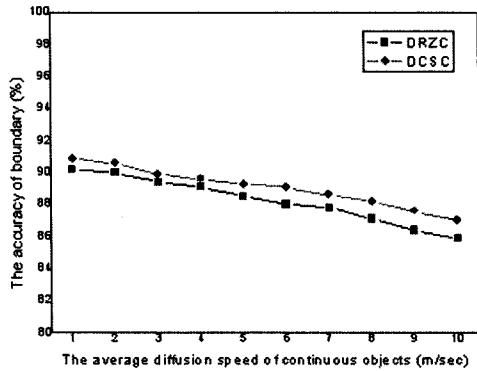


(a) 경계의 정확성

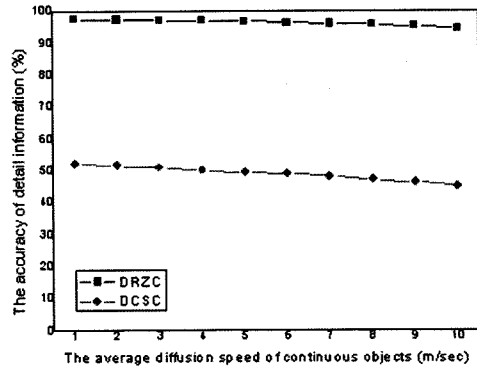


(b) 세부 정보의 정확성

그림 2 노드 밀도의 영향



(a) 경계의 정확성



(b) 세부 정보의 정확성

그림 3 연속적인 개체들의 평균 확산 속도의 영향

준다. DRZC는 확산 속도의 증가 때문에 연속적인 개체의 형태가 빠르게 변할지라도, 동적인 직사각형 영역의 빠른 재구성을 통해 값을 유지할 수 있다. DCSC에서는 연속적인 개체의 확산 속도에 민감하고 세부 정보를 고려하지 않기 때문에, 세부 정보의 정확성은 매우 낮다.

### 5. 결론

본 논문에서 우리는 센서 네트워크에서 연속적인 개체를 검출하고 추적하는 것에 대한 문제들을 제시하였다. 개체들의 형태가 동적으로 변할지라도 연속적인 개체를 효율적으로 검출하고 추적하는, 동적인 직사각형 영역에 기반한 연속적인 개체 추적 방안을 제안하였다. 우리는 제안한 방안이 연속적인 개체의 경계와 세부 정보를 정확하게 추정하는 것을 시뮬레이션을 통해 보여주었다.

### 참고 문헌

[1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: A survey," *Computer Networks*, vol.38, no.4, pp.393-422, Mar. 2002.

[2] M. Chu, H. Haussecker, and F. Zhao, "Scalable information-driven sensor querying and routing for ad hoc heterogeneous sensor networks," *International Journal of High Performance Computing Applications*, vol.16, no.3, pp.90-110, 2002.

[3] W. Zhang and G. Cao, "DCTC: Dynamic Convoy Tree-Based Collaboration for Target Tracking in Sensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol.3, pp.1689-1701, Sep. 2004.

[4] X. Ji, H. Zha, J. Metzner, and G. Kesidis, "Dynamic Cluster Structure for Object Detection and Tracking in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks," *IEEE International Conference on Com-*

*munications*, June 2004.

[5] K. Chintalapudi and R. Govindan, "Localized edge detection in sensor fields," *IEEE International Conference on Communications Workshop on Sensor Network Protocols and Applications*, April 2003.

[6] J. Albowitz, A. Chen, and L. Zhang, "Recursive Position Estimation in Sensor Networks," *IEEE International Conference on Network Protocols*, 2001.

[7] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>

[8] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, "Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research," *IEEE Information Processing in Sensor Networks*, April 2005.