

# 무선 센서 네트워크에서 연결된 선택적 활성화 기법을 사용하는 강건한 연속 객체 추적 프로토콜

홍형섭\*, 김상하°

## A Robust Continuous Object Tracking Protocol Using Chained Selective Wakeup Strategy in Wireless Sensor Networks

Hyungseop Hong\*, Sang-Ha Kim°

### 요 약

무선 센서 네트워크에서 선택적 활성화 기법은 객체를 감지하고 추적하는데 있어 에너지를 절약하기 위해 사용되는 기법이다. 최근 산불, 유해가스와 같은 연속객체를 추적하는데 선택적 활성화 기법을 사용한 프로토콜들이 제안되었는데 이들은 연속객체의 모양을 예측을 통해 그 객체의 경계 지역만 활성화하는 방법을 사용한다. 이 방법은 균일한 분포로 설치되어 있는 센서 네트워크에서는 잘 동작한다. 하지만, 현실적으로 랜덤하게 분포되어지는 무선 센서 네트워크에는 그대로 적용할 수 없다. 활성화 메시지는 순차적으로 전달되는데, 예측된 다음 경계 지역이 보이드 지역 내부에 위치했을 때, 이 활성화 메시지는 예측된 지역으로 전달될 수 없다. 이 때문에 센서가 적절한 시간에 활성화 되지 못하게 되고 센서는 많은 감지 오류를 유발하게 된다. 더욱이, 한번 활성화 제어가 실패하면 다음 활성화 제어도 실패할 확률이 매우 높다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 강건한 연속객체 추적을 위한 연결된 선택적 활성화 기법을 제안한다. 제안된 프로토콜은 네트워크 설정시 보이드 지역 정보 수집 후 그 정보를 고려하여 센서를 활성화 한다.

**Key Words** : Sensor Networks, Object Tracking, Void, Continuous Object, Cluster

### ABSTRACT

In wireless sensor networks, the selective wakeup scheme is one of the energy saving mechanisms, that is used for an object detecting or tracking. Recently, many protocols are proposed using the selective wakeup scheme for the continuous objects tracking such as forest fires and poison gas. They predict the future shape of continuous objects and activate only sensors in the predicted boundary area of the objects. It works correctly in a uniformly deployed wireless sensor networks. However, it cannot be directly applied to a randomly deployed sensor networks with voids. When the predicted area is in the void area, the activation message cannot reach and the predicted area cannot be activated at the right time. It leads to many detection errors for continuous object. Moreover, if a sensor is once foiled in a activation control then the next activation control might be continuously failed. The detection errors can be result in serious harm to people. In this paper, we propose a chaining selective wakeup scheme for robust continuous object tracking in wireless sensor networks. In our protocol, we collect the information of a void area during the network configuration time; if the next boundary area is in the void area, we activate the chained area surrounding the void area with activation control message.

\* 주저자 : 한전케이디엔 그룹사HT센터 한수원사업팀, hshong@kdn.com, 정회원  
 ° 교신저자 : 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실, shkim@cnu.ac.kr, 중신회원  
 논문번호 : KICS2012-11-524, 접수일자 : 2012년 11월 8일, 최종논문접수일자 : 2012년 12월 22일

## I. 서 론

무선 센서 네트워크는 자원의 제약으로 배터리와 컴퓨팅 능력이 낮은 수많은 센서들이 자율적인 통신망을 형성함으로써 구축된다<sup>[1]</sup>. 이 때문에 무선 센서 네트워크에서 제공하는 응용들은 네트워크 수명을 늘리기 위해 기본적으로 에너지 효율성을 고려하여 디자인 하게 된다. 최근에는 무선 센서 네트워크에서 산불, 진흙의 흐름, 기름 유출과 같은 연속 객체 (continuous object)라 불리는 이동 이벤트를 추적하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다<sup>[2]</sup>. 연속 객체는 개별 객체(individual object)와 달리한 곳에서 발생해서 주변 지역으로 서서히 확산되는 특징을 갖고 있으며 그 모양은 바람과 같은 자연현상이나 바위나 구멍 같은 물리적인 장애물로 인해 불규칙적이고 다양하게 바뀌므로 예측하기가 어렵다.

연속 객체의 모양을 확인하는데는 연속 객체의 경계를 찾는 것이 가장 효과적인 방법 중 하나다. 이것은 하나의 연속 객체는 그 경계가 완전히 둘러싸여 있기 때문이다<sup>[5]</sup>. 그러므로 객체의 모양을 확인하는 데에는 경계 노드 (boundary node)들로 나타내지는 경계 지역 근처에 있는 센서 노드들로 부터의 데이터만으로 충분하다. 하지만 모든 센서노드들이 활성화 모드로 유지된다면 여전히 에너지는 낭비될 것이다. 경계주변의 센서들만 활성화 하고 나머지 노드들은 비활성화 한다면 가장 효율적인 전략이 될 것이다. 이 방법을 선택적 활성화 기법 (selective wakeup strategy)라고 한다<sup>[6]</sup>.

효과적인 선택적 활성화 기법을 위해서 연속 객체의 다음 위치를 예측하는 것은 기본적으로 중요한 문제다. 이는 효과적인 추적을 위해서는 비활성화 모드의 센서들이 객체가 그들의 감지영역에 가까이 접근했을 때 즉시 활성화 될 수 있어야 하기 때문이다. 지금까지의 연구들은 이웃한 센서 노드들이 감지하고 감시하여 수집한 정보를 바탕으로 연속 객체의 움직임 위치를 예측하는 방법을 사용했다. 최근 제안된 PRECO [8]와 CCOT [10]는 연속 객체 추적을 에너지 효율적으로 하기 위해 선택적-활성화-기법을 사용하고 있다. PRECO는 시-공간 (spatio-temporal) 기법을 사용해서 연속 객체의 움직임을 예측한다. 하지만 낮은 컴퓨팅 파워를 가진 센서들이 모두 예측에 참여하는 것은 비현실적이다. 이러한 PRECO의 비현실적인 문제를 해결하기 위해 단순하면서 더 현실적인 예측이 가능한 CCOT

가 제안되었다. CCOT에서는 복잡한 계산을 통한 예측 대신 인접한 셀 단위 활성화 기법을 이용해서 PRECO의 비현실성을 극복하고자 했다. 하지만, 이 방법 역시 보이드 지역(void area)을 고려하고 있지 못하기 때문에 현실적으로 무작위로 센서들이 배치되는 센서망에 바로 적용하기는 어렵다.

실제로 무선 센서 망에서 수많은 센서 노드들은 넓고 불규칙한 지역에 무작위로 설치된다. 그리고 일부 센서 노드들은 에너지 고갈로 작동을 하지 못할 수도 있다. 때문에 센서 네트워크 지역에는 센서가 존재하지 않는 보이드 지역(void area)이 존재하게 된다. 구현 측면에서 균일한 분포로 센서를 설치하는 것이 어렵기 때문에 보이드 지역의 발생은 필연적이며 보이드 지역이 발생하면 연속 객체의 움직임을 예측하는데 어려움이 발생한다. 앞서 언급한 프로토콜들은 연속 객체의 움직임을 예측하여 활성화 하는 방식으로 동작을 하는데 연속 객체가 보이드 지역을 통과할 경우 보이드 지역으로 인해 센서간 정보교환이 불가능하기 때문에 연속 객체가 지나갈 다음 경계지역을 적절한 시간에 활성화 하는 것이 어렵다. 이는 제어 메시지를 받을 센서가 실제로 예측한 지역에 없을 경우가 발생하기 때문인데 이렇게 한번 경계 지역 센서의 활성화가 실패하게 되면 연쇄적으로 다음 예측도 실패할 수밖에 없게 되어 선택적 활성화 기법을 이용한 객체추적은 실패할 수밖에 없다. 더욱이, 대부분의 연속 객체들은 산불, 황사, 쓰나미 등과 같은 위험한 물질이나 현상이기 때문에 객체 추적에 실패하게 되면 사람들에게 치명적이기 때문에 정확성 문제는 매우 중요하다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 강건한 연속객체 추적을 위한 연결된 선택적 활성화 기법을 제안한다. 제안된 프로토콜에서는 기존의 선택적 활성화 기법에서 사용하던 단일 센서간 활성화 기법이 아닌 보이드 지역을 둘러싼 다중 지역 활성화 기법이 가능하다. 이 기법은 연속 객체가 보이드 지역을 통과하여 확장되더라도 그 경계지역을 놓치지 않고 추적하는 것이 가능하게 한다.

제안된 프로토콜에서는 연속 객체를 감시하는데 독립적으로 활성-비활성 동작을 할 수 있는 스마트-클러스터(smart-cluster)라 불리는 그리드 기반의 구조를 사용한다. 우리는 이 기법을 연속 객체를 추적하는데 있어 다양한 상황을 고려한 지능적으로 동작하는 클러스터 기법이란 의미에서 Smart-cluster Continuous Object Tracking (SCOT)라 명명했다.

에너지 효율을 위해 SCOT에서는 스마트-클러스터 단위의 선택적-활성화-기법을 사용한다. 그리고 연속 객체가 보이드 지역에 근접하였을 때 Left-hand Guard band Wakeup Request (LGWR) 메시지와 Right-hand Guard band Wakeup Request (RGWR) 메시지의 두 가지 시그널링 메시지를 이용해서 보이드 지역 주변 센서들을 활성화한다. 이 메시지를 통해서 단일셀이 아닌 연결된 다중 셀 활성화가 가능하게 된다. 스마트-클러스터의 제어는 각 센서마다 동시에 계산될 필요가 없으므로 각 센서 노드끼리 활성화 및 비활성화 판단을 위해 동기화를 위한 추가적 오버헤드는 발생하지 않는다.

본 장에서는 보이드 지역 문제점과 제안된 알고리즘에 대한 간략한 소개를 하였고, 2장에서는 알고리즘을 구성하는 프레임워크에 대해, 3장에서는 주요 알고리즘을 기술하고, 4장에서는 시뮬레이션 결과에 대해 논하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 제안된 프로토콜의 프레임워크

### 2.1. 스마트-클러스터 구성

연속 객체를 추적하는데 있어 선택적 활성화 기반메커니즘들의 기본 동기는 한정된 자원을 최대한 절약하기 위해 객체가 접근하기 전까지 최대한 비활성화 상태를 유지하는 것이다. 각 센서 노드들은 GPS나 기타 다른 방법으로 자신의 위치를 알고 있다고 가정한다[9]. 무선 센서 네트워크 내의 모든 센서를 효율적으로 활성-비활성화 시키기 위해서는 객체의 움직임을 예측하는 것이 필수적이다. 연속 객체의 움직임을 예측하는데 있어서 연속 객체의 움직임에 영향을 줄 수 있는 모든 요소를 고려하는 것은 슈퍼 컴퓨터 급의 컴퓨팅 능력이 필요한 일이므로 컴퓨팅 파워가 낮은 무선 센서 네트워크에서는 현실적이지 못하다. 때문에, 본 논문에서는 감지 영역을 균일한 크기의 그리드 모양을 가진 스마트-클러스터 단위로 단순화하여 가상화하였다. 스마트-클러스터를 구축하는 과정에서 보이드 지역 정보를 셀 헤드(Cell head)가 미리 알게 하여 보이드 지역 근처에 있는 센서들이 적절한 시간에 활성화 될 수 있도록 하였다. 스마트-클러스터는 일정 크기를 가진 그리드 구조의 클러스터로 1단계 셀 헤드 선출 단계, 2단계 보이드 지역 탐색, 3단계 셀 헤드(Cell Head)간 정보교환을 통한 보이드셀(Void cell)의 탐색을 거쳐서 구축된다.

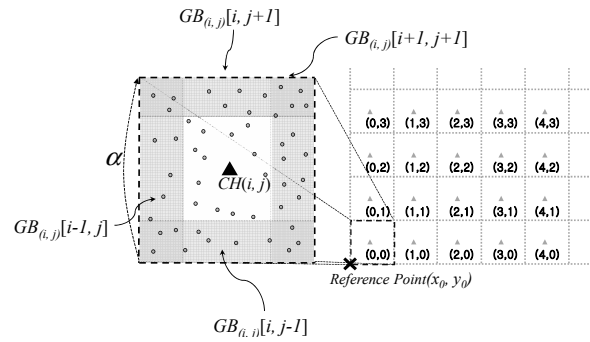


Fig. 1. Smart-cluster structure & Reference Point

본 논문에서 사용한 스마트-클러스터는 기준점  $RP(x_0, y_0)$ 을 기준으로  $\alpha$ 크기를 가진 정사각형 그리드 구조이며  $\alpha$ 는 감시하고자 하는 연속 객체의 특성에 따라 조절되어야 하는 값이다. 이 값은 스마트-클러스터가 구축되는 초기에 설정된다. 구성된 스마트-클러스터는 셀 단위로 지칭하며 x축방향  $a$ 번째, y축방향  $b$ 번째인 클러스터는  $SC_{cell}(a,b)$ 과 같이 나타낼 수 있다. 제안된 프로토콜에서 각각의 셀은 4방향의 가드밴드(Guard band)를 가지며 각각의 가드밴드는 인접한 셀 번호로 나타낸다. 본 논문에서는 그림1에서와 같이  $CH(i,j)$ 의 좌측면 가드밴드는  $GB_{(i,j)}[i-1,j]$  우측면 가드밴드는  $GB_{(i,j)}[i+1,j]$ 와 같이 표기하기로 한다.

#### 2.1.1. 셀 헤드 선출 및 셀 가드밴드 설정

각각의 스마트-클러스터는 자신의 셀 헤드를 가지며 스마트-클러스터  $SC_{cell}(a,b)$ 에 속한 셀 헤드는  $CH(a,b)$ 로 나타낸다. 수식(1)은 센서 노드 자신의 위치가  $(x,y)$ 일 때 기준점  $RP(x_0, y_0)$ 로부터 몇 번째 셀에 위치하는지를 계산하는 수식이다.  $a, b$  값은 문제를 단순화하기 위해 양수임을 가정하였다 [10].

$$a = \lfloor (x - x_0) / \alpha \rfloor, b = \lfloor (y - y_0) / \alpha \rfloor. \quad (1)$$

보이드 지역의 탐색과 스마트-클러스터의 제어를 담당하게 될 셀 헤드의 선출은 센서의 에너지 소비량과 센서의 위치 정보에 기반하여 이루어진다. 셀 헤드는 에너지 측면에서 타 센서 노드에 비해 많은 에너지를 소모하게 되므로 배터리가 충분하고 에너지 소비율이 낮은 센서가 선택되도록 하고 위치 측면에서는 가드밴드(Guard Band) 생성 및 운영에 유리한 중앙에 가까운 센서가 선택되도록 한다.  $SC_{cell}(a,b)$ 에 속한  $(x,y)$ 에 위치한 센서는 수식(2)와 같

이 유도된 타이머에 의해 해당 셀에 헤드 선언 메시지를 보냄으로써 셀 헤드가 된다. 센서들은 각각 자신의 타이머가 만료되기 전 다른 센서로부터 셀 헤드 선언 메시지를 받으면 타이머를 종료하고 자신이 속한 셀 헤드 정보를 저장한다. 복수의 셀 헤드 선언 메시지를 받았을 경우 R값이 적은 센서를 셀 헤드로 선택한다.

$$\left\lfloor \frac{2R}{\alpha \times E_{residual}} \right\rfloor, \quad (2)$$

수식(2)에서, Eresidual은 센서 노드의 잔여 전력의 양을 의미한다. R은 SC<sub>cell</sub>(a,b)의 중앙지점인 (x<sub>0</sub> + α(a + 1/2), y<sub>0</sub> + α(b + 1/2))와의 거리를 의미하며 다음과 같이 계산된다.

$$R = \sqrt{\left(x - \left(x_0 + \alpha\left(a + \frac{1}{2}\right)\right)\right)^2 + \left(y - \left(y_0 + \alpha\left(b + \frac{1}{2}\right)\right)\right)^2}.$$

셀 헤드의 선출 및 셀 내부 보이드 지역 탐색은 독립적으로 이루어지지 않고 에너지 효율을 위해서 순차적인 두 종류의 메시지를 통해 이루어진다. 하나의 셀 내에서 배터리 소비율과 지역정보를 고려한 셀 헤드 선언 메시지가 플러딩 되면 플러딩 메시지를 받은 센서들은 셀 헤드의 위치 정보를 저장하고 가드밴드 설정을 시작한다. 셀 헤드 선언 메시지를 받은 각각의 노드들은 계산에 의해서 자신이 기본 가드밴드에 속하는지 아닌지 판단을 한다. 가드밴드에 속하는 센서들은 가드밴드가 정상적으로 객체를 감지 할 수 있는지 확인을 하고 그 결과를 셀 헤드에게 알려준다. 가드밴드는 제안된 프로토콜에서 객체 감지의 시발점이 되는 단위로서 가드밴드 내부에 보이드 영역이 위치하게 되면 객체의 추적이 어렵게 되어 객체 추적 메커니즘의 정상적인 동작을 보장할 수 없다. 그래서, 가드밴드 내부 보이드 지역의 확인은 매우 중요한 사항이다. 제안된 프로토콜에서는 정사각형 셀의 가장 모서리에 속하는 가드밴드 내 센서에서 반시계방향으로 보이드 탐색 메시지를 보내 가드밴드가 정상 동작 가능한지 여부를 확인한다. 셀 헤드에서는 모서리 센서들의 정보를 수집하여 해당 방향 가드밴드의 정상 동작 여부를 확인한다. 셀 헤드는 가드밴드 센서들로부터 동작 메시지가 없을 경우 해당 방향 가드밴드 영역은 보이드 지역으로 인지하게 된다.

### 2.1.2. 보이드 셀 탐색

셀 내부에서 셀 헤드 선출과 가드밴드 설정이 끝

나면 선출된 셀 헤드는 이웃한 셀의 정보를 확인하기 위해 자신이 속한 스마트-클러스터의 정보를 이웃한 셀 헤드들에게 알려준다. 센서 네트워크 특성상 각각의 센서들이 독립적으로 망 설정에 들어가게 된다. 셀 헤드들은 에너지 효율을 위해 망 설정 초기에 한해 정보를 교환하고 이미 정보를 알고 있는 경우 해당 셀에게는 셀 헤드 정보를 보내지 않는다. 각각의 셀 헤드는 해당 지역 이웃 셀 헤드 선언 메시지를 받지 못했을 경우 해당 지역은 보이드 셀로 인식하게 된다.

## III. 스마트-클러스터 운영 기법

### 3.1. 스마트-클러스터 상태관리

셀 헤드는 스마트-클러스터의 활성화 상태를 자신이 관리하는 가드밴드 단위로 관리한다. 스마트-클러스터는 다음의 상태를 가진다.

- 1) 보이드(Void) : 가드밴드의 센서로부터 가드밴드 설정 완료 메시지가 도착하지 않은 상태. 셀 헤드는 해당 지역에 센서가 없는 것으로 인식함.
- 2) 준비(Standby) : 가드밴드의 센서로부터 가드밴드 설정 완료 메시지가 도착한 상태를 나타냄.
- 3) 가드밴드 활성화(GB Active) : 셀 헤드에 의해 가드밴드가 활성화된 상태로 가드밴드에 속한 센서들은 연속 객체의 움직임을 주기적으로 활발하게 확인한다. 이 상태에서 가드밴드에 속한 센서가 객체를 감지하면 즉시 셀 활성화 상태로 바뀌게 된다.
- 4) 셀 활성화(Cell Active) : 셀 헤드가 활성화된 센서로부터 객체 감지 메시지를 받은 상태다.

### 3.2. 스마트-클러스터 기본 동작 방식

기본적인 스마트-클러스터 동작은 연속 객체가 가드밴드 근처로 접근하면 해당 방향 인접한 가드밴드를 활성화 시키는 방법으로 동작한다. 각각의 센서들은 자신의 상태에 따른 주기로 연속 객체를 감지하여 자신이 속한 셀 헤드에게 객체확인 메시지를 보낸다. 셀 헤드는 이 메시지와 스마트-클러스터의 상태에 따라 알맞은 영역의 센서들을 활성화 또는 비활성화 시킨다. 하나의 셀 헤드는 총 8방향의 가드밴드를 관리한다<sup>10)</sup>.

### 3.3. 보이드 지역 유형별 스마트-클러스터 관리

#### 3.3.1 보이드 지역 유형별 스마트-클러스터 관리

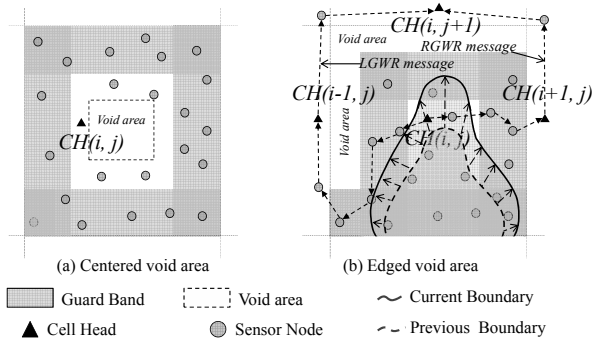


Fig. 2. Centered Void Area & Edged Void Area

- 1) 중앙보이드지역 (CVA) : 보이드 지역이 셀의 중앙에 위치한 경우로 가드밴드 영역은 정상 동작 가능하여 프로토콜의 동작에 미치는 영향은 적은 경우이다. 그림 2(a)는 CVA의 예제이다. 그림에서 보느바와 같이 보이드 지역이 가드밴드와 셀 헤드에 미치는 영향이 미미하여 보이드 지역이 없을 때와 동일한 방법으로 동작한다.
- 2) 모서리보이드지역 (EVA) : 보이드 지역이 셀의 모서리 부분에 위치한 경우로 가드밴드 중 일부가 정상 동작이 어려운 상태이다. 이 상태에서는 해당 방향 가드밴드의 역할은 이웃한 가드밴드가 맡게 된다. 그림 2(b)는 EVA의 예제이다. 상단과 좌측 가드밴드 영역에 보이드 지역이 위치해 상단과 좌측 가드밴드 영역이 정상적으로 동작하지 못한다. 연속 객체가 해당 방향으로 접근하면  $CH(i, j)$ 는  $CH(i-1, j)$ 에는 LGWR 메시지를  $CH(i+1, j)$ 에는 RGWR 메시지를 보내 보이드 지역 주변의 가드밴드를 활성화 한다.
- 3) 분할보이드지역 (DVA) : 보이드 지역이 해당 셀을 완전히 두 지역으로 나누어 두 지역간 셀내부 통신으로는 통신이 불가능 한 상태이다. 이상태에서는 분리된 각각의 셀은 인접한 셀의 셀 헤드의 통제를 받는다. 그림3(a)는 DVA의 예제이다.  $CH(i, j)$ 는 상단부에 있는 센서들과 직접 통신이 불가능하다. 연속객체가  $CH(i, j)$ 가 속하는 지역을 벗어나려 하면  $CH(i, j)$ 는  $CH(i-1, j)$ 에는 LGWR 메시지를  $CH(i+1, j)$ 에는 RGWR 메시지를 보내 인접한 가드밴드들이 연속객체를 계속해서 감지할 수 있도록 활성화 한다.

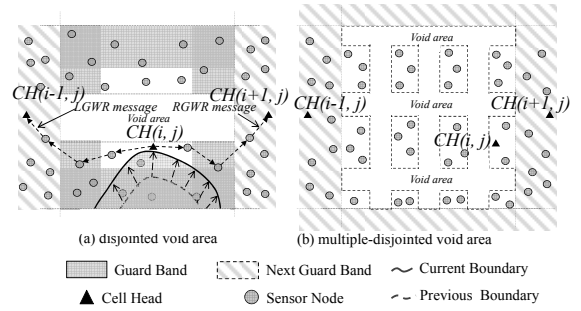


Fig. 3. Dual & Multiple-disjointed Void Area

- 4) 다중분할보이드지역 (MVA) : 보이드 지역이 해당 셀 내부를 무수히 많은 지역으로 나누어 셀 헤드 선출 및 가드밴드 설정 등의 기능이 정상적으로 동작하기 어려운 상태이다. 이 상태의 센서들은 항상 켜진 상태로 스마트 클러스터에 참여하지 않고 단순히 객체의 모니터링만 수행한다. 이웃한 셀에서는 해당 지역을 보이드 셀로 인식한다.

### 3.2. 연속객체확산에 따른 프로토콜 동작 절차

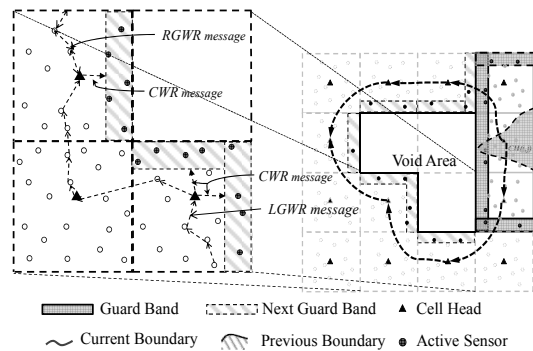


Fig. 4. The control message of proposed protocol

보이드 지역으로 인해 연속객체 추적 프로토콜이 올바르게 동작하지 않는 현상의 극복을 위해서는 기본적으로 셀 헤드  $CH(i, j)$ 는 2장에서 기술한 보이드 지역 탐색 기법을 통해 어느 지역에 센서가 존재하지 않는지에 대한 정보를 미리 파악하고 있어야 한다. 그림4는 연속객체확산에 따른 컨트롤 메시지가 어떻게 전달되는지를 나타낸 그림이다. 그림4 우측 부분처럼 연속 객체가 보이드 지역에 인접한 가드밴드에 속한 센서가 연속 객체를 감지하면 자신이 속한 셀 헤드에게 ODM (Object Detection Message)를 보낸다. ODM 메시지를 받은  $CH(i, j)$ 는 어느 쪽 가드밴드에 속한 센서로부터 ODM 메시지 인지 확인한 후 해당 방향 인접 가드밴드

정보를 확인하여 이웃한 가드밴드가 있을 경우는 WRM(Wakeup Request Message)를 이웃한 셀 헤드에게 보내고 이웃한 가드밴드 영역이 보이던 지역일 경우 보이던 지역 주위의 스마트-클러스터의 활성화를 요청하는 Left-hand Guard band Wakeup Request (LGWR) 메시지와 Right-hand Guard band Wakeup Request (RGWR) 메시지를 시계방향과 반시계 방향 각각으로 이웃한 셀 헤드에게 보낸다. 각각의 셀 헤드는 LGWR나 RGWR 메시지를 받으면 메시지의 소스가 어디인지 확인 후 보이던 지역과 인접한 자신이 관리하는 가드밴드를 활성화 한다. 본 논문에서는 이 기법을 이용하여 연속객체의 추적을 기존 프로토콜들 보다 강건하게 하였다.

#### IV. 성능 분석

제안된 프로토콜의 성능 분석을 위해 PRECO, CCOT 프로토콜과 두 가지 측면에서 비교하는 시뮬레이션을 수행했다. 다음은 시뮬레이션을 위해 사용된 주요 척도에 대한 설명이다.

- 1) 예측정확성(Accuracy) : 실제 객체의 경계선과 프로토콜별 센서에서 감지된 경계선 사이의 정확성을 비교하기 위한 메트릭으로 본 논문에서는 모든 센서가 항상 객체의 움직임을 감지할 수 있는 상태인 전활성(All Active) 상태에서 센서가 감지한 데이터를 기준으로 각각의 프로토콜 상에서 동작하는 센서가 감지한 데이터를 비교하여 예측정확성(Accuracy)을 계산한다. 전활성 상태의 센서 네트워크는 센서의 비활성화 없이 모든 센서들이 항상 정상 동작중인 상태이므로 연속 객체를 정확하게 감지할 수 있다고 가정한다. 예측 정확성은 수식3과 같이 나타낼 수 있다.

$$Accuracy = \frac{\text{제안된 방법에서 측정된 경계 센서 노드수}}{\text{전활성 모드에서 측정된 경계 센서 노드수}} \quad (3)$$

- 2) 총 에너지 소비량(Total energy consumption) : 시뮬레이션을 수행한 센서 네트워크에서 소비한 총 에너지량

본 시뮬레이션은 Qualnet ver 4.0 [11]을 이용하여 시뮬레이션 되었다. 감지지역은 200m × 200m의 정사각형 영역이며 무선 센서 네트워크는 총 2,500개의 랜덤분포의 형태를 가진 센서노드로 구

성하였다. 하나의 스마트-클러스터는 한 면이 20m인 정사각형 모양이고, 가드밴드의 기본 크기는 5m이다. 시뮬레이션의 정확성을 높이기 위해 Telos [12] 센서 노드의 특성에 근거하여 센서의 전력 소비량은 활성화 상태일 때 3mW, 비활성화 상태인 경우 15uW로 설정하였고 송·수신 전력소비량은 각각 42mW, 29mW로 설정하였다. 또한, 연속 객체는 한 점에서 점점 확산되어가는 원형 모양인 경우와 네트워크의 한 쪽 부분에서 한 방향으로 직진하는 단방향 모양인 경우로 나누어 실험하였다. 원형 모양 연속 객체의 경우는 중앙에서 발생하여 임의의 속도로 확산되도록 하였으며 단방향 모양의 연속 객체는 네트워크의 왼쪽 모서리 끝에서 임의의 속도로 확산되도록 하였다. 모든 센서의 통신거리는 30m, 센싱거리는 4m로 하여 실험하였다.

본 논문에서는 선택적 활성화 기법이 적용되지 않은 경우를 기준으로 하여 보이던 지역이 존재하는 센서 네트워크에서 PRECO, CCOT 그리고 제안된 프로토콜이 어떻게 동작하는지를 시뮬레이션 하였다. 기본적으로 선택적 활성화 기법이 적용된 경우 네트워크의 에너지 소비율은 낮아질 것이고 각각 프로토콜별로 보이던 지역이 미치는 영향이 다르게 나타날 것을 예측해 볼 수 있다. 본 시뮬레이션의 주요 관심사는 제안된 프로토콜이 보이던 지역이 존재하는 실질적인 센서 네트워크 환경에서 기존 프로토콜보다 정확성과 에너지 소비율 측면에서 우수한 성능을 나타내는지 이다.

그림 5와 6은 원형으로 확산되어 가는 연속 객체에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내는 그래프이다. 그림 5에서 보면 시뮬레이션 시간동안 제안된 프로토콜을 사용했을 때 모든 센서를 전활성 상태로 운영하였을 때와 비교하여 정확성 면에서 큰 차이를 보이지 않고 있지만 PRECO와 CCOT의 경우 정확성이 현저히 낮아지는 결과를 보이고 있다. 다만 원형으로 확산되어가는 객체의 특성상 연속객체가 보이던 지역을 완전히 벗어난 경우 정확성이 어느정도 회복되는 현상이 나타났다. 그림 5은 원형객체 추적에 대한 각 프로토콜들의 에너지 소비율을 나타낸다. 총 에너지 사용률이 전활성 상태에 비해 현격하게 줄었지만 PRECO나 CCOT에 비해서는 약간 높았다. 이는 제안된 프로토콜에서 보이던 지역을 고려하여 객체를 추적하기 위해 부가적으로 에너지를 더 소비하기 때문에 나타난 결과로 볼 수 있다. 하지만 그 차이는 정확성이 현저히 높아지는 것을 고려하면 감내할 수준으로 보인다.

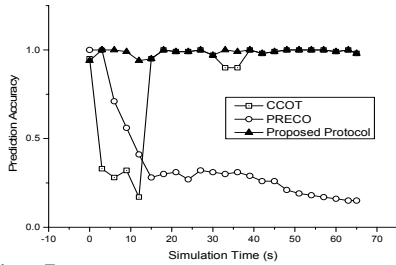


Fig. 5. The accuracy of round Object

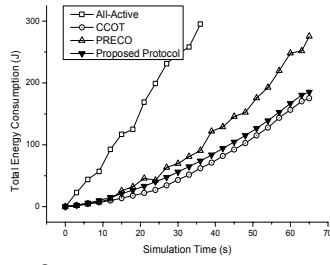


Fig. 6. The Energy of round Object

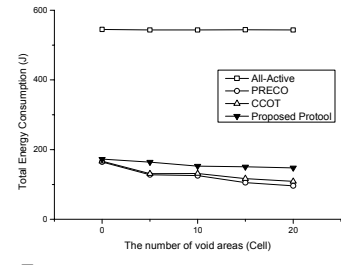


Fig. 7. The influence of Void area I

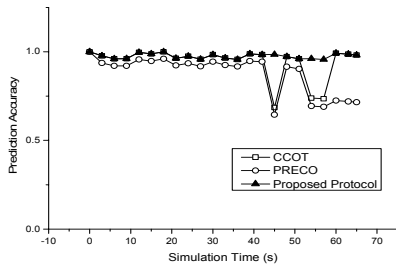


Fig. 8. The accuracy of one-way Object

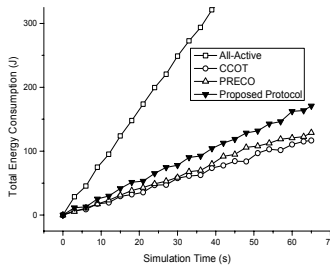


Fig. 9. The Energy of one-way Object

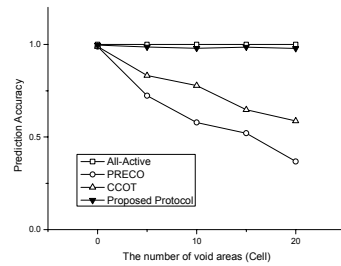


Fig. 10. The influence of Void area II

그림 7은 보이드 지역의 크기의 변화에 따른 영향을 보여준다. 모든 센서가 활성화 된 전활성 상태와 비교해서 선택적 활성화 기법을 사용하는 프로토콜들은 에너지 소비면에서 좋은 효율을 보여주었다. 총 사용된 에너지는 제안된 프로토콜, CCOT, PRECO 순으로 많이 사용되었다. 이는 보이드 지역으로 인해 상태적으로 활성화 된 센서가 적은 프로토콜들이 에너지 총 사용량 면에서는 낮은 결과를 나타낸 것으로 보인다. 그래프의 기울기를 보면 제안된 프로토콜은 타 프로토콜에 비해 변화량이 낮은결로 미루어 보이드 지역이 넓어지더라도 좀 더 안정적인 예측을 하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 8과 9는 한 방향으로 확산되어가는 연속객체추적에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 8에서 나타난 정확성 그래프를 보면 PRECO와 CCOT의 경우 갑자기 정확성이 떨어지는 구간이 존재한다. 이는 그 시점에 보이드 지역에 근접하여 정확성이 급격히 떨어지는 것으로 설명할 수 있다. 그림 9는 한방향으로 움직이는 연속객체를 추적할 경우 총 에너지 소비량을 나타내는 그래프이다. 에너지 소비량이 객체가 원형으로 확산될 때와 비교해서 일정하게 증가되는 경향을 보인다. 이는 네트워크 상황이 원형 객체에 비해 산술적으로 증가하여 나타난 결과로 볼 수 있으며 에너지 소비측면에서는 원형 객체 추적 시뮬레이션과 비교해서 전활성 상태 일 때 보다는 현저하게 줄었지만 PRECO나 CCOT에 비해서는 약간 높은 결과를 보였다.

그림 10은 보이드 지역의 크기에 따른 정확성을 보여준다. 제안된 프로토콜은 정확성 면에서 전활성 상태와 그다지 차이가 없지만 PRECO와 CCOT의 경우 보이드 지역이 커질수록 정확성이 심각하게 떨어짐을 확인할 수 있다. 이상의 결과를 보았을 때 제안된 프로토콜은 기존 방식에 비해 소량의 에너지를 더 소비하지만 연속 객체를 정확하게 추적할 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 연속객체를 추적하는데 있어 대부분 위험물질인 연속객체 특성을 고려하면 제안된 프로토콜이 매우 유리함을 설명해주고 있다.

## V. 결 론

본 논문은 연속 객체를 추적하는데 있어 정확성의 중요함을 역설하고 보이드 지역이 정확성에 중대한 영향을 끼치고 있음을 지적하였다. 본 논문에서 제안된 활성화 기법은 기존의 단일 센서 혹은 단일 클러스터 활성화 기법과 달리 보이드 지역을 고려한 연계된 선택적 활성화 기법을 도입하여 단일 지역이 아닌 다중 지역 활성화가 가능하도록 하였다. 이 기법을 활용하여 센서들은 부가적으로 많은 에너지 소비 없이 정확성을 확보할 수 있었다. 본 연구와 관련하여 부가적으로 보이드 지역 확인에 드는 에너지 소비를 줄이는 방안과 제어 메시지의 신뢰성을 높일 수 있는 방안에 대한 연구가 이루어지고 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on seonsor networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] W. Zhang and G. Cao, "DCTC: dynamic convoy tree-based collaboration for target tracking in sensor networks," *IEEE Trans. on Wirel. Commun.*, vol. 3, no. 5, pp.1689-1701, Sep. 2004.
- [3] W. P. Chen, J. C. Hou, and L. Sha, "Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Netw. Protoc. (ICNP)*, pp. 284-294, Nov. 2003.
- [4] Y. Xu, J. Winter and W.C. Lee, "Prediction-based strategies for energy saving in object tracking sensor networks," in *Proc. IEEE Mobile Data Manage. (MDM)*, pp. 346-357, Jan. 2004.
- [5] W. Chang, H. Lin, and Z. Cheng, "CODA: a continuous object detection and tracking algorithm for wireless ad hoc sensor networks," in *Proc. IEEE Consumer Commun. and Netw. Conf. (CCNC)*, pp. 168-174, Jan. 2008.
- [6] X. Ji, H. Zha, J. J. Metzner, and G. Kesidis, "Dynamic cluster structure for object detection and tracking in wireless ad-hoc sensor networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Commun. (ICC)*, vol. 7, pp. 3807-3811, Jul. 2004.
- [7] J. Kim, K. Kim, S. H. Chauhdary, W. Yang, and M. Park, "DEMOCO: energy-efficient detection and monitoring for continuous objects in wireless sensor networks," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E91-B, no. 11, pp. 3648-3656, Nov. 2008.
- [8] S. Hong, S. Noh, E. Lee, S. Park, and S. Kim, "Energy-efficient predictive tracking for continuous objects in wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC)*, pp 1723-1728, Sep. 2010.
- [9] B. Karp and H. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proc. ACM Int. Conf. on Mobile Comput. and Netw. (MobiCom)*, pp., Aug. 2000.
- [10] W. Lee, H. Hong and S. Kim, "Cluster-based Continuous Object Prediction Algorithm for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks," *J. KICS*, vol. 36. no. 8, pp.489-496, Aug. 2011.
- [11] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>.
- [12] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, "Telos: enabling ultra-Low power wireless research," in *Proc. IEEE/ACM Int. Conf. on Inform. Proces. in Sensor Netw. (IPSN)*, pp.48 , Apr. 2005.

### 홍 형 섭 (Hyungseop Hong)



1999년 충남대학교 컴퓨터과학  
과 학사  
2003년 충남대학교 컴퓨터과학  
과 석사  
2003년~2005년 한국전자통신  
연구원  
2004년~현재 한전KDN 한수

원사업팀 근무

<관심분야> Wireless Sensor Networks, Smart  
Grid, Multicast, Security 등

### 김 상 하 (Sang-Ha Kim)



1980년 서울대학교 학사  
1984년 University of Houston  
석사  
1989년 University of Houston  
박사  
1992년~현재 충남대학교 전기  
정보통신공학부 교수

<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor  
Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등