

# 저밀도 센서 네트워크 환경에서 다항 회귀 예측 기반 이동 객체 추적 기법

## Moving Object Tracking Scheme based on Polynomial Regression Prediction in Sparse Sensor Networks

황동교\*, 박혁\*, 박준호\*, 성동욱\*\*, 유재수\*  
충북대학교 정보통신공학과, 한국과학기술원\*\*

Donggyo Hwang(corea1985@gmail.com)\*, Hyuk Park(agodsun@naver.com)\*,  
Junho Park(junhopark@chungbuk.ac.kr)\*, Dong-ook Seong(doseong@dbserver.kaist.ac.kr)\*\*,  
Jaesoo Yoo(yjs@chungbuk.ac.kr)\*

### 요약

무선 센서 네트워크 환경에서 이동 객체 추적 기법은 환경 모니터링이나 군사 지역에서 적의 이동을 추적하는 실제 응용을 위한 핵심적인 기반 기술이다. 기존 연구에서는 저밀도를 갖는 실제 센서 네트워크 환경에 의해 발생하는 감지 공백 영역을 고려하지 않았다. 따라서 많은 이동 객체 추적 실패가 발생하여 에너지 소모가 증가하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 저밀도 환경과 감지 공백 영역을 고려한 이동 객체 추적 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 다항 회귀 분석을 이용해 객체의 경로를 예측하여 최소한의 센서 노드를 활성화시킨다. 또한 이동 객체 추적 실패가 발생할 경우 감지 공백 영역의 경계 노드만을 활성화 시키는 객체 추적 복구 기법을 수행한다. 이를 통해, 제안하는 기법은 에너지 소모량을 줄이고 감지 공백 영역 안에서도 높은 예측 정확도를 보장한다. 제안하는 기법이 기존 기법에 비해 이동 객체 추적에 소모되는 에너지를 평균 약 47% 감소시켰고, 센서 노드가 낮은 밀도로 배치된 상황에서 발생하는 감지 공백 영역에서도 평균 약 91%의 예측 정확도를 보였다.

■ **중심어** : | 무선 센서 네트워크 | 객체 추적 | 다항 회귀 | 저밀도 네트워크 | 예측 |

### Abstract

In wireless sensor networks, a moving object tracking scheme is one of core technologies for real applications such as environment monitoring and enemy moving tracking in military areas. However, no works have been carried out on processing the failure of object tracking in sparse sensor networks with holes. Therefore, the energy consumption in the existing schemes significantly increases due to plenty of failures of moving object tracking. To overcome this problem, we propose a novel moving object tracking scheme based on polynomial regression prediction in sparse sensor networks. The proposed scheme activates the minimum sensor nodes by predicting the trajectory of an object based on polynomial regression analysis. Moreover, in the case of the failure of moving object tracking, it just activates only the boundary nodes of a hole for failure recovery. By doing so, the proposed scheme reduces the energy consumption and ensures the high accuracy for object tracking in the sensor network with holes. To show the superiority of our proposed scheme, we compare it with the existing scheme. Our experimental results show that our proposed scheme reduces about 47% energy consumption for object tracking over the existing scheme and achieves about 91% accuracy of object tracking even in sensor networks with holes.

■ **keyword** : | Wireless Sensor Network | Object Tracking | Polynomial Regression | Sparse Network | Prediction |

\* 본 연구는 KISTI의 지원(K-12-L06-C02-S03)과 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과임.(No. 2009-0089128)

접수번호 : #111220-001

접수일자 : 2011년 12월 20일

심사완료일 : 2012년 01월 20일

교신저자 : 유재수, e-mail : yjs@chungbuk.ac.kr

## 1. 서론

최근 무선 통신과 하드웨어 기술의 발전으로 인해 저 전력 기반의 저가 무선 센서 노드의 개발이 가능하게 되었다. 이로 인해, 환경을 감지하기 위한 여러 종류의 센싱 모듈을 장착한 대규모의 센서 노드를 배포시켜 다양한 정보를 수집하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다 [1-4].

센서 네트워크에서 사용되는 센서 노드는 드물게 일반 전원을 공급받을 수 있는 환경을 제외하고는 일반적으로 배터리와 같은 한정된 에너지원을 바탕으로 구동되고, 한번 배포되면 접근하기 힘든 환경에서 동작하는 경우가 대부분이다. 그러므로 한정된 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 기법이 요구된다. 이러한 센서 네트워크를 활용한 다양한 응용 연구 중에서 이동 객체 추적 기법은 활발하게 연구되고 있는 응용 연구 중 하나이다. 이동 객체 추적 기법을 이용하여 군사 지역에서 적의 침투나 이동 경로를 감지하여 다양한 작전 공간에서 시시각각 변하는 상황 정보를 실시간으로 수집하고 이를 지휘 통제에 활용할 수 있는 군사적인 응용이나 야생 동물 서식지 관찰, 산불 감지 등과 같은 다양한 모니터링 분야에 활용이 가능하다.

이동 객체를 추적하는 방법은 일반적으로 다음과 같은 2가지 방법으로 분류할 수 있다. 첫째, 센서 네트워크의 모든 센서 노드가 이동 객체 추적에 참여하는 방법과 둘째, 객체의 이동 경로를 예측하여 예측된 경로 상에 존재하는 센서 노드만 추적에 참여하도록 하는 방법이다. 이동 경로를 예측하여 일부의 센서 노드만으로 추적하는 기법에서 센서 노드의 상태는 이동 객체를 감지할 수 있는 활동 중인 상태 즉, 활성화 상태와 예측 경로 상에 존재하지 않아 에너지 소모를 최소로 하기 위한 비활성화 상태로 나눌 수 있다. 첫 번째 경우처럼 전체 센서 노드가 활성화 상태를 유지하면 큰 에너지 소모가 발생된다. 따라서 예측 경로상의 일부분의 센서 노드들을 활성화시키는 두 번째 방법에 주로 초점을 맞추어 연구가 진행되었다.

기존에 이동 객체 추적 기법들은 이동 객체를 추적 수행에 있어서 전체 네트워크상의 임의의 위치에서도 적어

도 하나 이상의 센서 노드가 이동 객체를 감지할 수 있는 환경을 기반으로 하고 있다. 하지만 이러한 환경은 실제 센서 네트워크의 배포 환경을 고려할 때 비현실적인 가정이다.

[그림 1]과 같이 실제 응용에서는 센서 노드는 항공기를 활용한 배치 전략 혹은 자원 제약적인 배치 전략으로 인해 밀집도가 낮다[5][6]. 결과적으로 저밀도 센서 네트워크 환경이 구축되므로, 일부의 지역에서 이동 객체를 감지할 수 없는 감지 공백 영역이 발생한다. 또한 많은 수의 센서 노드를 배포하여 감지 공백 영역이 발생하지 않는다고 할지라도 물리적인 공격으로 특정 지역의 센서 노드가 파손되거나 배터리 소모나 결함 인해 특정 지역에 감지 공백 영역이 발생할 가능성이 있다.

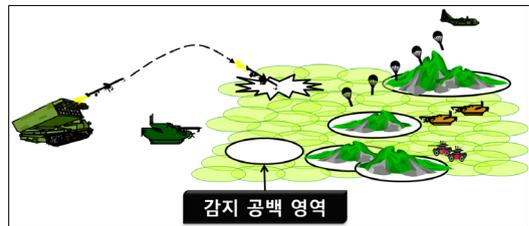


그림 1. 센서 노드 배포 및 감지 공백 영역

실제 군사 지역에서 적들의 침입을 감지하고, 추적된 정보를 토대로 이동 경로를 예측할 수 있다면 예측된 경로 상의 중요한 시설물이나 거점들을 미리 방어할 수 있다. 하지만 감지 공백 영역이 발생하여 적들의 이동 경로를 파악하지 못하면 큰 피해를 입을 것이다. 따라서 감지 공백 영역 안에서도 객체의 움직임을 추적할 수 있는 기법이 요구된다. 또한 기존의 이동 객체 추적 실패 복구 기법이 에너지 소모가 극심하므로 감지 공백 영역을 고려한 추적 및 복구 기법이 요구된다. 기존 연구에서는 이러한 상황에서 많은 센서 노드를 모두 활성화시켜 이동 객체 추적을 복구시키는 기법을 사용하고 있다[7]. 이러한 기존 기법은 센서 노드의 에너지 소모를 극심하게 발생시킨다. 그러므로 감지 공백 영역을 고려한 에너지 효율적인 객체 추적 복구 기법에 대한 연구가 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 저밀도 센서 네트워크 환경에서 다항 회귀 예측 기반 이동 객체 추적 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 감지 공백 영역 안으로 객체가 이

동할 경우 감지 공백 영역의 경계 노드만을 활성화시켜 에너지 소모를 최소화시키는 복구 알고리즘을 수행한다. 그러므로 기존 기법에 비해 이동 객체를 추적하기 위한 에너지 소모를 최소화 하면서도 감지 공백 영역이 존재함에도 객체에 대한 높은 예측 정확도를 보이는 것이 가능하다.

본 논문의 구성은 제2장에서는 기존에 이동 객체 추적 기법에 대한 문제점 분석 및 연구 방향을 제시하고, 제3장에서는 제안하는 이동 객체 추적 기법과 궤적 예측 방법 및 추적 감지 공백 영역을 고려한 복구 기법의 특징과 수행 과정을 설명한다. 제4장에서는 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 시뮬레이션을 통해 기존 기법과 성능을 비교 평가하고, 마지막으로 제5장에서 결론과 향후 연구에 대하여 기술한다.

## II. 관련연구

센서 네트워크에서 이동 객체 추적에 대한 연구들은 크게 이동 객체의 위치를 갱신하기 위해 데이터의 전송 및 수집에 관한 연구와 이동 객체 추적에 필요한 감지 센서 노드의 최소 활성화에 관한 연구로 분류된다. 이러한 두 분류의 특성을 고려한 일반적인 객체 추적 기법에서는 크게 트리-기반, 클러스터-기반, 예측-기반의 3가지 경우로 분류 할 수 있다.

### 2.1 트리-기반 객체 추적 기법

DCTC[8]는 convoy라 불리는 트리 구조를 사용한다. 객체를 감지한 다수의 센서 노드들 사이의 협업을 통해 추적을 진행한다. 객체가 이동하면서 임계치 이상 거리가 멀어진 몇몇의 센서 노드들은 트리에서 제거되고, 객체 주변의 센서 노드들은 트리에 추가되면서 동적으로 트리가 구성되어 객체 추적을 진행한다. STUN[9]은 DAB 트리 구조를 채택하고 많은 수의 이동 객체를 처리한다. 단말 노드는 객체의 도착과 출발을 감지하고 오직 갱신된 정보만 중간 노드를 통해 루트로 전송된다. 중복된 메시지 전송을 제거함으로써 통신비용을 줄였다. 하지만 트리 기반의 추적 기법들은 이동 객체가 동적으로

움직이기 때문에 트리 구조가 쉽게 깨지고 트리 구조를 유지하는 비용이 크다.

### 2.2 클러스터-기반 객체 추적 기법

acoustic target tracking[10]는 높은 용량의 센서 노드의 고정적인 백본에 의지하는 기법이다. 높은 용량을 가지는 클러스터 헤드는 미리 정해놓은 임계치 이상의 신호 강도를 감지하면 활성화 상태가 된다. 활성화된 클러스터 헤드는 주변의 센서를 깨우고 감지된 정보를 이용하여 동적인 클러스터를 구성한다. ADCT[11]은 높은 용량을 가지는 센서의 배포 없이 객체를 추적하는 기법이다. 이 기법은 동적으로 선택된 클러스터 헤드를 중심으로 객체의 움직임을 예측하기 위한 클러스터를 구축한다. 이 기법은 클러스터 안의 일부의 센서 노드만 활성화 상태를 유지하고 나머지 센서 노드들은 비활성화 상태를 유지하여 클러스터안의 전체 센서 노드가 활성화 상태를 유지하는 것 보다는 에너지측면에서 효율적이다. 하지만 동적 클러스터링은 객체의 이동이 빈번하면 클러스터의 재구축에 필요한 에너지 소모가 크다.

### 2.3 예측-기반 객체 추적 기법

DPR[12]은 기지국과 센서 노드들 사이의 긴 거리의 전송을 피함으로 에너지 소비량을 줄이는 기법이다. PES[13]는 예측된 지역을 기반으로 3개의 heuristic wake-up mechanisms을 이용하여 추적의 정확도와 에너지 소모간의 균형을 고려하였다. 하지만 예측-기반 객체 추적 기법은 예측의 정확도에 따라 객체 추적에 대한 신뢰도가 좌우되기 때문에 정확한 예측이 필요하다. 또한 예측의 오류가 존재하기 때문에 기존의 기법에 비해 많은 이동 객체 추적 실패가 발생한다. 따라서 객체 추적 실패상황에서 에너지 효율적인 객체 추적 실패 복구 기법이 요구된다.

이러한 기존 연구 중 가장 최신의 연구로 DMSTA[7]는 트리 구조를 이용하여 예측-기반의 객체 추적 기법을 수행한다. 이동 객체 실패 확률을 줄이기 위해 예측된 이동 객체의 궤적 상에 있는 n-홉만큼의 센서 노드들을 활성화 시키고 이동 객체와 가장 가까운 노드가 새로운 루트 노드가 되어 트리를 확장시키는 기법을 사용한다.

[그림 2]는 이동 객체 추적을 위해 센서 노드들을 활성화 시키는 모습을 보여준다. 루트 노드 n1은 이동 객체의 방향, 속도, 위치를 수집한다. 객체의 이동 방향에 있는 가장 가까운 노드 n5에게 레적 정보와 홉-카운트 정보를 포함한 `you_are_root` 메시지를 전송한다. 홉-카운트는 객체의 이동 궤적을 바탕으로 결정된다. 이동 객체의 경로상의 노드에게 메시지가 전달 될 때마다 홉-카운트를 1씩 감소시켜 홉-카운트가 0이 될 때까지 메시지를 전송한다. 메시지를 받은 센서 노드들은 자신을 기준으로 트리를 확장시켜 나간다. 이동 객체 추적을 실패할 경우 루트는 이동 객체 추적 실패를 n홉의 이웃 센서 노드에게 알리고, 메시지를 받은 센서 노드는 활성화 상태가 된다. 루트는 이동 객체를 감지했다는 메시지를 받기 전까지 지속적으로 센서 노드들을 활성화시킨다.

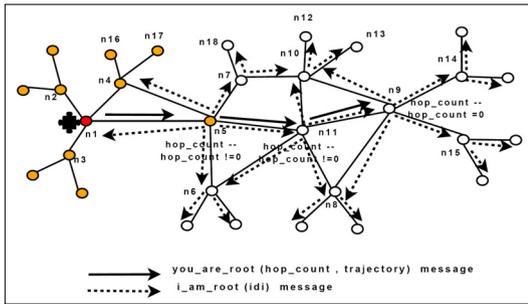


그림 2. 기존 기법의 예측 확장 트리 구성

하지만 트리를 구축하고 이동 객체의 이동에 따라 구축된 트리를 재구축하는 에너지 소모가 크고, 홉-수에 의한 전략은 센서 노드의 밀집도에 큰 영향을 받는다. 또한 이동 객체 실패가 발생할 경우, [그림 3]과 같이 복구 기법으로 루트를 중심으로 n홉의 이웃 노드들을 활성화시키는 기법을 사용한다. 하지만 복구 기법 역시 홉-수에 의한 전략을 사용하기 때문에 높은 밀집도를 갖는 경우 이동 객체의 속도보다 적은 범위를 활성화시키게 되고, 적은 밀집도를 갖는 경우는 넓은 범위를 활성화시키게 된다. 따라서 정확하고 빠른 복구를 수행하는 것이 불가능하고 많은 에너지 소모를 발생시킨다.

기존의 연구들은 실제 환경을 고려한 저밀도 센서 네트워크 배포 환경과 감지 영역의 공백을 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 실제 센서 네트워크 배포 환경

을 고려한 에너지 효율적인 이동 객체 예측 기법과 추적 복구 기법에 대한 연구를 진행한다.

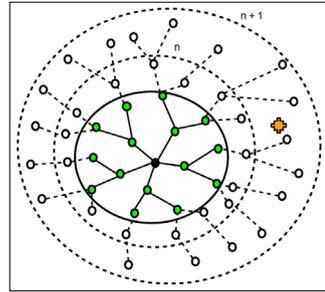


그림 3. 기존 기법의 이동 객체 추적 복구 기법

### III. 제안하는 이동 객체 추적 기법

#### 3.1 이동 객체 감지 기법

센서 노드가 배포되면 자신의 아이디와 위치 정보를 기지국으로 전송한다. 그리고 각 센서 노드는 자신의 통신 반경 안에 존재하는 이웃 노드에게 자신의 아이디와 위치 정보를 전송한다. 이렇게 수집된 이웃 노드의 정보를 바탕으로 자신의 감지 영역과 이웃의 감지 영역이 중복되는 부분을 연산하여 저장한다. 만일 센서 노드가 객체를 감지한 경우, 센서 노드가 위치한 지점을 이동 객체의 위치로 인지한다. 객체를 감지한 센서 노드는 자신의 이웃 노드에게 아이디 정보를 전송한다. 자신의 이웃 중 가장 작은 아이디를 갖는 센서 노드가 감지 정보를 수집해 기지국으로 전송한다. 정보를 수집한 센서 노드는 객체의 궤적을 예측하여 예측 범위에 포함된 센서 노드들에게 활성화 메시지와 객체의 현재 위치 정보를 함께 전송하여, 지속적인 객체 추적이 가능하게 한다. 감지한 센서 노드는 일정 시간이 지난 후 다시 활성화 메시지를 받기 전까지 비활성 상태(Sleep Mode)를 유지한다. 각 노드는 이동 객체에 대한 시간 정보와 위치 정보를 저장하여 이동 객체의 감지 정보가 부족할 경우, 이를 보완하기 위한 수단으로 활용한다.

[그림 4]는 제안하는 기법의 동작 구조를 나타낸다. 시간 t에 객체를 감지한 노드 S1과 노드 S2가 있다. 객체를 감지한 노드 S1과 노드 S2는 자신의 이웃 중 아이디가

가장 작은 노드 S1에게 자신의 아이디를 전송한다. 노드 S1은 이동 객체를 감지한 노드의 아이디 정보를 취합하여 이동 객체의 위치, 속도, 방향을 연산한다. 연산 정보를 이용하여 다항 회귀 분석을 통해 이동 객체의 궤적을 예측하고, 예측된 궤적 상의 최소의 센서 노드인 노드 S3와 노드 S4에게 이동 객체의 과거 정보와 함께 활성화 메시지를 전송해 연속적으로 이동 객체 추적을 가능하게 한다. 이 후, 노드 S1은 취합된 정보를 기지국에게 보고하고, 비활성상태를 유지하여 에너지 소모를 최소화한다.

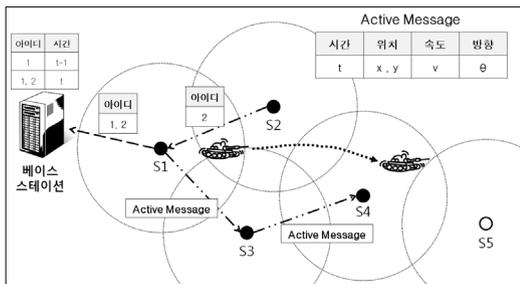


그림 4. 제안하는 이동 객체 추적 기법

### 3.2 이동 객체 위치 측정 기법

이동 객체 추적을 하기 위해서 이동 객체를 감지한 정보를 토대로 이동 객체의 위치를 측정해야 한다. 일반적으로 센서 네트워크 환경에서 물체의 위치 측정은 Range-based 방식과 Range-free 방식이 있다. 먼저 Range-based 방식은 측정 거리의 정확도가 높지만 이를 위해 추가적인 장비가 요구되므로 저렴한 비용의 장비를 사용한다는 센서 네트워크의 특성에 맞지 않다. 또한 추가적인 장비를 사용하기 때문에 에너지 소모가 증가한다 [14]. Range-free 방식은 Range-based 방식보다 측정 거리의 정확도가 높지는 않지만 추가적인 장비를 사용하지 않기 때문에 거리 측정에 요구되는 에너지 소모 및 비용을 절감할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 실제 센서 네트워크 환경에 적합한 별도의 장비가 필요 없고 에너지 소모가 적은 Range-free 방식을 사용하여 이동 객체의 위치를 측정한다.

대표적인 Range-free 방식을 살펴보면, Centroid 기반의 위치 측정은 객체를 감지한 센서 노드들의 위치 평균값으로 객체의 위치를 측정한다. 본 논문에서는

Range-free 방식의 Centroid 기법을 이용한 위치 측정 기법을 통해 객체의 위치를 측정한다. [그림 5]와 같이 이동 객체를 감지한 센서 노드들의 위치의 평균을 구하여 위치를 측정한다. 만약 노드 S1만이 감지한 경우 객체의 위치로 노드 S1의 위치를 사용하고, 노드 S1과 노드 S2가 감지한 경우 노드 S1과 노드 S2의 위치의 평균값인 흰색 점(S1,2)을 객체의 위치로 측정한다.

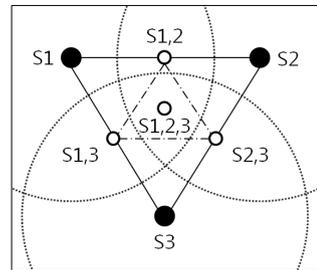


그림 5. Centroid 기법을 이용한 이동 객체 위치 선정

### 3.3 이동 객체 예측 기법

이동 객체의 궤적 정보가 적을 경우 다항 회귀 예측 기법을 사용할 수 없으므로 객체의 속도와 방향을 이용한 예측 기법을 수행한다. 이동 객체 추적이 진행되어 객체의 궤적 정보가 충분히 누적된다면 더 정확한 예측을 위해 다항 회귀 예측 기법을 사용하여 객체의 위치를 예측한다.

이동 객체의 궤적 정보가 충분하지 않다면 이동 객체의 속도와 방향을 토대로 위치를 예측한다. 이동 객체의 속도, 방향은 [그림 6]과 같이 구할 수 있다. 시간 t에서 객체의 위치는  $(x_t, y_t)$ 이다. 시간이 경과한 시간 t+1에서의 객체의 위치는  $(x_{t+1}, y_{t+1})$ 이다. 두 점을 이용하여 객체의 속도와 진행 방향을 계산할 수 있다. 이렇게 구한 속도와 방향을 토대로 이동 객체의 경로를 예측한다.

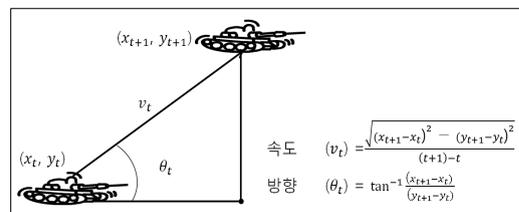


그림 6. 속도, 방향 계산

이동 객체의 궤적 정보가 충분하다면 더 정확한 예측을 위하여 다항 회귀 분석을 이용하여 객체의 위치를 예측한다. 회귀 분석이란 임의의 독립 변수  $X$ 가 변화함에 따라 종속 변수  $Y$ 가 어떠한 함수 형태를 가지고 변화하는지를 예측하는 방법이다. 이동 객체에 대한 회귀 모형 도출시 선형 회귀 모형을 이용할 경우, 독립 변수들과 종속 변수의 관계가 선형적이지 않으면 추정된 회귀선과 실제 객체의 이동 궤적간의 오차가 발생할 수 있으므로 본 논문에서는 종속 변수의 변화가 독립 변수에 대해 곡선 관계일 때 사용하는 방법인 다항 회귀 분석[15]을 이용한다. 일반적인 다항 회귀 연산은 식(1)과 같다.

$$y = \alpha + \beta x + \gamma x^2 \quad (1)$$

여기서  $\alpha, \beta, \gamma$ 는 2차 회귀 분석 모델 계수이다.

시간에 따라 이동 객체의 위치가 변하기 때문에 시간에 따라 영향을 받는 객체의 위치인  $x, y$ 좌표 값을 예측해야 한다. 이들 각각에 대한 다항 회귀 분석 식은 다음 식(2)와 식(3)과 같다.

$$x = f_1(t) = \beta_{10} + \beta_{11}t + \beta_{12}t^2 + \dots + \beta_{1n}t^n + \epsilon_1 \quad (2)$$

$$y = f_2(t) = \beta_{20} + \beta_{21}t + \beta_{22}t^2 + \dots + \beta_{2n}t^n + \epsilon_2 \quad (3)$$

$\beta_{1n}, \beta_{2n}$ 는 알지 못하는 값으로서 회귀 계수 또는 모수라 한다. 회귀 모형에서는 측정된 이동 객체의 위치 값에 대한 오차항  $\epsilon$ 의 값이 최소가 되는 회귀 계수를 추정하는데 목적이 있다. 따라서 최소 자승법을 이용해 식(2)와 식(3)의 회귀 계수를 식(4)와 같이 추정한다. 이러한 다항 회귀 식을 토대로 이동 객체의 위치를 예측한다.

$$\text{minimize} \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha - \beta x_i - \gamma x_i^2)^2 \quad (4)$$

### 3.4 최소 센서 노드 활성화 기법

에너지 효율적인 이동 객체 추적을 하기 위해서는 예측된 궤적 정보를 토대로 이동 객체 추적을 위한 최소한의 센서 노드만을 활성화 시켜야 한다. 따라서 본 기법에서는 최소의 센서 노드만을 활성화시키기 위한 활성화 기법을 제안한다. 초기에 센서 네트워크에 배포된 전체

센서 노드들이 이동 객체를 감지하기 위해 활성화 상태를 유지한다. 이동 객체를 감지한 센서 노드가 있다면 감지한 센서 노드의 주변 이웃 노드들을 제외하고 나머지 센서 노드들은 비활성화 상태를 유지하게 된다. 연속적인 이동 객체 추적을 위해 감지된 이동 객체의 정보를 토대로 다항 회귀 분석을 통해 예측한 이동 물체의 예상 경로를 이용하여 최근의 이동 물체 위치에서부터 이동 물체의 속도와 방향 변화를 고려하여  $\theta$ 만큼의 영역을 확장한 범위 안에 있는 센서 노드를 활성화시킨다. [그림 7]은 예측 경로를 이용한 센서 노드의 활성화 기법을 나타낸다. 그림과 같이 시간  $t$ 까지의 이동 객체의 궤적 정보를 이용하여 다항 회귀 분석 예측을 통해 시간  $(t+1)$ 까지의 이동 객체 궤적을 예측한다. 시간  $t$ 에서의 이동 객체 위치에서 이동 객체의 속도와 방향을 고려하여  $(t-1)$ 에서  $t$ 시간까지의 방향과 객체의 평균 속도만큼의 원호 영역을 확장한 범위 안에 있는 센서 노드들에게 활성화 메시지와 [표 1]과 같은 이동 객체 궤적 정보를 전송하여 활성화시킨다.

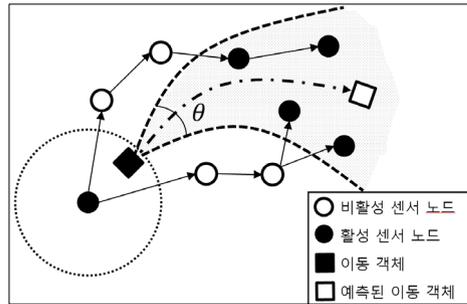


그림 7. 예측된 경로를 이용한 센서 노드 활성화

표 1. 이동 객체 궤적 테이블 구조

시간	이동 객체 위치	속도	방향
$t$	$x, y$	$m/s$	$\theta$

### 3.5 상황에 따른 이동 객체 추적 복구 기법

이동 객체 추적 중 하나 이상의 센서 노드가 객체를 감지하지 못한 경우 이동 객체 실패라고 한다. 이 경우 이동 객체 추적을 진행하기 위해 복구 기법을 사용한다. 본 논문에서는 이동 객체 추적 실패를 이동 객체 예측경로

오차로 인한 경우와 이동 객체가 감지 공백 영역 안에 있을 경우로 본다. 이동 객체 추적을 실패할 경우 예측된 이동 객체 주변의 활성화된 센서 노드의 주변에 감지 공백 영역이 있을 경우 감지 공백 영역에 의한 추적 실패로 보고 그렇지 않으면 예측 경로 오차로 인한 실패로 본다.

예측 오류에 의한 복구 기법은 예측된 이동 객체의 위치를 중심으로 객체의 속도를 고려하여 원 반경의 범위 안에 존재하는 센서 노드들을 활성화시킨다. [그림 8]과 같이 예측된 이동 객체와 실제 이동 객체의 오차로 인해 이동 객체를 감지하지 못한 경우 이동 객체의 평균 속도를 고려하여 마지막으로 예측된 이동 객체의 위치를 중심으로 ( $v_{mean} \times t$ ) 반경 안의 센서 노드를 활성화시킨다. 그래도 이동 객체 추적 실패를 복구하지 못한 경우 하나 이상의 센서 노드가 객체를 감지 할 때까지 지속적으로 활성화 영역을 확장시킨다.

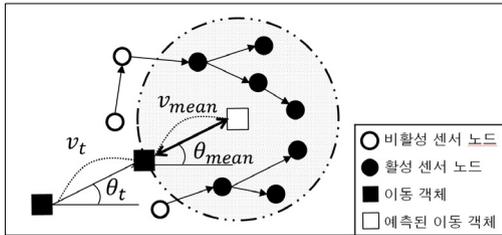


그림 8. 예측된 경로의 오류 상황에서의 복구

감지 공백 영역을 고려한 복구 기법을 사용하기 위해 센서 노드가 감지 공백 영역의 경계 노드인지를 인지해야 한다. 본 논문에서는 [그림 9]와 같이 경계 노드의 여부가 판단이 되지 않은 출발지 노드가 있다. 출발지 노드는 자신을 기준으로 이웃들의 각 차이를 계산한다. 각 차이가 90°를 넘는다면 오른손 법칙[16]을 사용하여 메시지를 전송한 노드가 다시 메시지를 받을 때까지 이웃 센서 노드에게 [표 2]와 같은 메시지를 전송한다. 메시지를 수신한 이웃 센서 노드는 메시지 안에 기록된 위치와 자신의 위치의 평균값을 계산하고 감지 공백 영역의 중심값을 갱신한다. 출발 센서 노드가 메시지를 수신 할 경우 감지 공백 영역의 중심 값과 자신의 위치의 거리 차를 구한다. 거리의 차가 감지 반경보다 크다면 감지 공백 영역의 경계 노드가 된다.

표 2. 감지 공백 영역 발견 메시지

출발 센서 노드의 아이디	감지 공백 영역의 중심
t	x, y

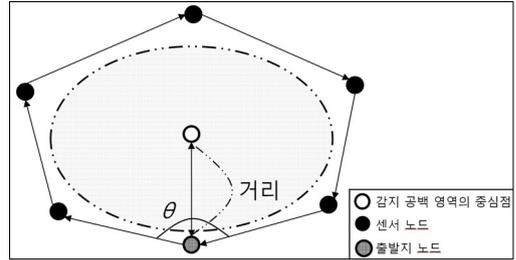


그림 9. 감지 공백 경계 노드 선정

[그림 10]은 객체가 감지 공백 영역 안으로 이동하여 객체 추적 실패가 발생한 경우이다. 예측된 경로 상에 존재하는 센서 노드 중 감지 공백 영역 경계 노드가 존재한다면, 감지 공백 영역을 감싸고 있는 센서 노드들을 활성화시킨다. 이동 객체를 감지한 노드가 발생할 때까지 감지 공백 경계 노드는 활성화 상태를 유지한다.

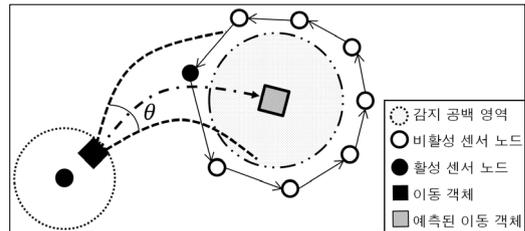


그림 10. 감지 공백 영역 오류에 대한 복구

## IV. 성능평가

### 4.1 실험 환경

본 논문에서는 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 기존 기법[7]과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 평가한다. 시뮬레이션은 J-Sim기반으로 수행하였다. 실제 센서 네트워크 환경을 고려하기 위하여 [그림 11]과 같이 광범위하고 저밀도 환경을 갖는 센서 네트워크 분포 환경을 구성하였다. 실제 이동 객체의 환경을 고려하기 위하여 객체의 이동 모델로 [17]의 이동 모델을 사용하였다.

센서 노드의 활성화, 비활성화 에너지 소모량은 [13]의 에너지 모델을 사용하였다.

[표 3]과 같이 센서 네트워크의 크기는 1000m × 1000m의 사각형의 형태를 갖는다. 센서 네트워크상에 1500개의 센서 노드를 무작위로 배치하여 구성 하였고, 기지국은 전체 네트워크의 가장 자리 (0,0)에 위치한다. 서로 다른 10개의 센서 네트워크를 생성하고 각 실험은 이동 객체 감지 횟수를 1000번을 수행한 결과를 사용하였다.

표 3. 성능평가 인자 및 값

출발 센서 노드의 아이디	위치
센서 네트워크 크기	1000m x 100m
센서 노드 수	1500개
통신 반경	40m
감지 반경	20m
활성화 에너지량	0.36J
비활성화 에너지량	0.009J

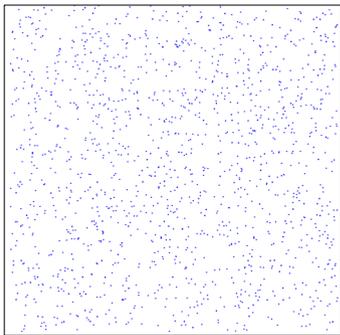


그림 11. 센서 노드 배포 환경

#### 4.2 성능평가 결과

이동 객체를 추적하면서 센서 네트워크가 소모하는 에너지는 크게 두 가지 있다. 첫 번째로 이동 객체를 감지하기 위해 활성화 상태를 유지하는데 소모되는 에너지와 두 번째로 감지된 데이터를 이웃 노드 및 기지국으로 전송하기 위해 소모되는 에너지이다. 두 경우의 에너지 소모량을 합산하여 이동 객체를 추적하기 위해 소모되는 전체 에너지를 연산하였다.

[그림 12]은 이동 객체를 추적하면서 전체 센서 네트워

크가 소모하는 총 에너지를 나타낸다. 본 실험에서는 이동 객체의 속도를 증가시키며 성능 평가를 수행하였다. 이동 객체의 속도가 증가하면 활성화시킬 센서 노드의 수가 증가하기 때문에 제안하는 기법과 기존 기법 모두 에너지 소모량이 증가하는 모습을 보인다. 기존 기법은 속도가 증가할수록 저밀도 환경을 고려하지 않아 이동 객체 추적 시 활성화 범위가 속도에 비례하여 증가한다. 또한 이동 객체 추적 실패 발생 시 활성화되는 영역이 증가하므로 속도에 따라 에너지 소모가 증가하는 모습을 보인다. 하지만 제안하는 기법은 감지 공백 영역을 고려하였기 때문에 이동 객체 실패 발생 시 감지 공백 영역의 주변 센서 노드만 활성화시키므로 에너지 소모량을 감소시키는 것이 가능하였다. 성능 평가 결과, 제안하는 기법이 기존 기법에 비해 에너지 소모량이 평균 약 47% 감소하였다.

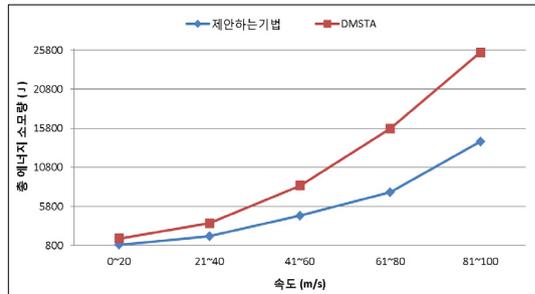


그림 12. 이동 객체 속도에 따른 에너지 소모량

감지 공백 영역은 어떠한 센서 노드도 이동 객체를 감지 할 수 없는 영역을 말한다. 하지만 감지 공백 영역이 넓다면, 감지 공백 영역 안에서 이동 객체의 움직임을 예측하는 것이 필요하다. 예를 들어 전장 같은 경우 감지 공백 영역을 통해서 적군이 침투 할 수도 있기 때문이다. 따라서 감지 공백 영역 안에서의 이동 객체의 움직임을 예측해야 한다.

[그림 13]은 센서 네트워크의 밀도에 따른 감지 공백 영역의 정확도를 나타낸다. 기존 연구에서는 감지 공백 영역 발생과 이에 따른 처리 기법에 대한 고려가 없었다. 그러므로 본 논문에서는 제안하는 기법만을 고려하여 감지 공백 영역 안에서의 예측 정확도를 성능 평가를 추가적으로 수행하였다. 제안하는 기법은 감지 공백 영역 안

에서의 이동 객체의 궤적을 제안하는 기법을 통해 위치를 예측하는 것이 가능하다. 성능 평가 결과, 제안하는 기법의 실제 이동 객체의 궤적에 대해 예측 궤적의 정확도가 평균 약 91%를 확인함으로써 낮은 밀도에서 많은 감지 공백 영역이 발생함에도 불구하고 높은 예측 정확도를 보였다.

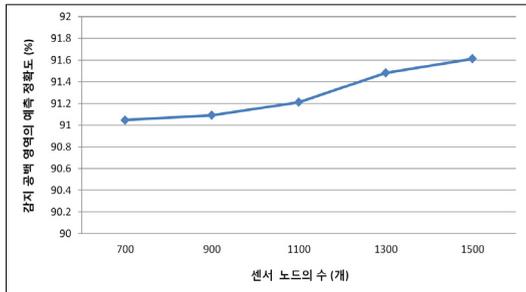


그림 13. 센서 네트워크의 밀도에 따른 감지 공백 영역에서의 예측 정확도

## V. 결론

본 논문에서는 실제 센서 네트워크 배포 환경을 고려한 저밀도 센서 네트워크 환경에서 다항 회귀 분석을 통한 예측 기법을 제안하였다. 다항 회귀 분석을 통한 예측 기법을 통해 최적의 센서 노드만을 활성화시켜 이동 객체를 추적함으로써 에너지 소모를 줄이고, 감지 공백 영역을 고려한 이동 객체 추적 복구 기법에 기반을 둔 이동 객체의 위치 예측을 통해 이동 객체 추적 실패 상황을 최소화하였다. 성능 평가 결과, 이동 객체 추적 및 이동 객체 추적 실패 복구에 대한 센서 노드들의 에너지 소모량을 평균 약 47% 감소시켰다. 또한 센서 네트워크에서 센서 노드가 낮은 밀도로 배치된 상황에서 발생하는 감지 공백 영역에서도 평균 약 91%의 예측 정확도를 보였다. 향후 연구로는 이동 객체 복구 기법으로 감지 공백 주변 영역의 전체 센서 노드들을 활성화시키지 않고 감지 공백 영역을 분할하여 최소의 센서 노드들을 점진적으로 활성화시키는 기법을 제안하는 것이다.

## 참고 문헌

- [1] 박준호, 여명호, 성동욱, 권현호, 이현정, 유재수, “센서 네트워크 환경에서 가상 식별자를 이용한 에너지 효율적인 다중 경로 데이터 라우팅 기법,” 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, 제7호, pp.70-79, 2011.
- [2] N. Xu, S. Rangwala, K. K. Chintalapudi, D. Ganesan, A. Broad, R. Govindan, and D. Estrin, “A Wireless Sensor Network for Structural Monitoring,” in Proceedings of the International Conference on Embedded Networked Sensor Systems(SenSys), pp.13-24, 2004.
- [3] G. Yang and Z. Liu, “The Design of Forest Fire Monitoring System Based on Wireless Sensor Network,” in Proceedings of the International Forum on Strategic Technology(IFOST), Vol.2, No.366, pp.1211-1214, 2011.
- [4] S. H. Lee, S. Lee, H. Song, and H. S. Lee: “Wireless Sensor Network Design for Tactical Military Applications: Remote Largescale Environments,” in Proceedings of the Military Communications Conference(MILCOM), pp.1-7, 2009.
- [5] S. Madden, M. J. Franklin, J. Hellerstein, and W. Hong, “TAG: a Tiny AGgregation service for ad-hoc sensor networks,” in Proceedings of the Symposium on Operating Systems Design and Implementation, pp.131-146, 2002.
- [6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, “Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks,” in Proceedings of the Annual International Conference on Mobile computing and Networks, pp.56-67, 2000.
- [7] A. Alaybeyoglu, A. Kantarci, and K. Erciyes, “A Dynamic Distributed Tree Based Tracking Algorithm for Wireless Sensor Networks,” Lecture Note in Computer Science, Vol.84, No.2,

pp.295-303, 2010.

[8] W. Zhang, and G. Cao, "DCTC: dynamic convoy tree-based collaboration for target tracking in sensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.3, No.5, pp.1689-1701, 2004.

[9] H.T. Kung, D. Vlah, "Efficient location tracking using sensor networks," in *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking (WCNC)*, Vol.3, pp.1954-1961, 2003.

[10] W. P. Chen, J. C. Hou, and L. Sha, "Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks," in *Proceedings of the IEEE Transactions on Mobile Computing*, pp.258-271, 2004.

[11] W. C. Yang, F. Zhen, J. H. Kim and M. S. Park, "An adaptive dynamic cluster-based protocol for target tracking in wireless sensor networks," *Lecture Note in Computer Science*, Vol.4505, pp.157-167, 2007.

[12] Xu. Y, Winter. J, and Lee. W. C, "Dual prediction-based reporting for object tracking sensor networks," in *Proceedings of Mobile and Ubiquitous Systems(MOBIQ)*, pp.154-163, 2004.

[13] Y. Xu, J. Winter, and W. Lee, "Prediction-based Strategies for Energy Saving in Object Tracking Sensor Networks," in *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Mobile Data Management*, pp.346-357, 2004.

[14] Z. Lotker, M. Martinez de Albeniz, and S. Perennes, "Range-Free Ranking in Sensors Networks and Its Applications to Localization," in *Proceedings of Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks: Third International Conference (ADHOC-NOW)*, pp.158-171, 2004.

[15] D. Montgomery, E. Peck, and G. Vining, "Introduction to Linear Regression Analysis," 4th Ed. Hoboken, NJ: Wiley, Ch.7, 2006.

[16] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy

Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in *Proceedings of the annual international conference on Mobile computing and networking(MOBICOM)*, 2000.

[17] A. Arora, P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Gouda, Y. Choi, T. Herman, S. Kulkarni, U. Arumugam, M. Nesterenko, A. Vora, and M. Miyashita, "A Line in the Sand: A Wireless Sensor Network for Target Detection, Classification, and Tracking," *Computer Networks*, Vol.46, No.5, pp.605-634, 2004.

### 저 자 소 개

황 동 교(Donggyo Hwang)

준회원



- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 데이터베이스 시스템, 클라우드 컴퓨팅, 위치 기반 서비스, 정보 검색 등

박 혁(Hyuk Park)

준회원



- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 위치 기반 서비스, 데이터베이스 시스템, 위치 기반 서비스 등

박 준 호(Junho Park)

정회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 데이터베이스 시스템, RFID, 차세대 웹, LMS/LCMS, 바이오인포매틱스 등

성 동 옥(Dong-ook Seong)

정회원



- 2005년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)

▪ 2011년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전산학과 연수 연구원

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 데이터베이스 시스템, FLASH 메모리 저장 시스템, LCMS/LMS, 위치 기반 서비스 등

유 재 수(Jaesoo Yoo)

중신회원



- 1989년 2월 : 전북대학교컴퓨터공학과(공학사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
- 1995년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학박사)

▪ 1995년 3월 ~ 1996년 8월 : 목포대학교 전산통계학과 (전임강사)

▪ 1996년 8월 ~ 현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 및 컴퓨터정보통신연구소 교수

<관심분야> : 데이터베이스시스템, 정보검색, 센서네트워크 및 RFID, 멀티미디어데이터베이스, 분산객체 컴퓨팅, 바이오 인포매틱스 등