

센서 네트워크에서 에너지 효율적 목표 추적 방법의 비교

오 승 현[†]

요 약

Wireless Sensor network를 이용하여 객체를 추적하는 방법에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다. 본 연구는 객체 추적에 사용되는 방법에 따라 에너지의 양과 추적의 정확도 사이에 존재하는 상관관계를 관찰하고, 움직임 예측 방법에서 에너지 소비량을 최소화할 수 있음을 확인하였다. 추적에 사용되는 에너지는 센서 노드가 객체를 감지하기 위해 소모하는 것이며, 추적의 정확도는 객체의 실제위치와 감지에 의해 계산된 위치의 차이이다. 몇 가지 추적방법과 파라미터의 조절에 따라 추적의 정확도와 소비되는 에너지의 양에 차이가 있고, 움직임 예측 알고리즘을 사용할 때 가장 좋은 에너지 효율을 얻을 수 있었다. 또한 가속도를 고려한 움직임 예측 알고리즘의 개선을 통해 더 나은 정확도와 에너지 효율을 기록하였다. 시뮬레이션 결과 움직임 예측 알고리즘에서 목표의 미래위치에 따라 노드를 활성화 시키는 범위는 예측 알고리즘이 정확할 경우 센서 노드의 감지범위 정도로 제한하는 것이 유리함을 알 수 있었다.

The Comparisons Between Energy Effective Target Tracking Methods in Wireless Sensor Network

Seung-Hyun Oh[†]

ABSTRACT

Many researches had been gone about method to track moving object using wireless sensor network. We examined tradeoffs that exist between quantity of energy and correctness of tracking, and we confirmed that can get more energy savings through improved motion prediction method. The consumed energy in the tracking is used by sensor node for sensing the object, and tracking correctness is a difference of actual object position from calculated value by sensing. Some tracking methods and controlling parameters causes a variation of tracking correctness and energy consuming, we can get best energy effectiveness by motion prediction algorithm. Furthermore, we get better tracking quality and energy effectiveness through using a motion prediction algorithm that consider acceleration. By the simulation, we know that if we use an accurate motion prediction algorithm, node activation range that is used for target's predicted position should be restricted to sensing range of sensor is better.

Key words: Sensor Network(센서 네트워크), Target Tracking(목표추적), Motion Prediction(움직임 예측), Energy Effective(에너지 효율), Wireless(무선)

1. 서 론

필드에 뿌려진 센서 노드를 이용하여 구성된 복잡한 무선 센서 네트워크(wireless sensor network)를

사용하여 환경 감시를 비롯한 지능적 데이터 수집에 대한 응용들이 연구되고 있다[1-6]. 센서 네트워크를 이용하는 전형적인 연구의 하나로 많은 관심을 끌고 있는 연구는 이동하는 객체를 추적하는 것이다.

※ 교신저자(Corresponding Author): 오승현, 주소: 경북 경주시 석장동 707(780-714), 전화: 054)770-2243, FAX: 054)770-2816, E-mail: shoh@dongguk.ac.kr
접수일: 2006년 9월 19일, 완료일: 2006년 11월 20일

[†] 정회원, 동국대학교 컴퓨터멀티미디어학과
※ 본 논문은 2005학년도 동국대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행된 연구임 (DRIMS 2005-3007-0)

일반적으로 센서 네트워크를 이용하여 이동하는 객체를 추적할 때 그 객체의 이동 경로에서 멀리 떨어진 곳의 노드에서 수집된 정보는 양이 적거나 객체를 감지하지 못한다. 이것은 많은 노드를 가진 대규모 네트워크에서 대부분의 노드들은 이동하는 객체를 추적하는 작업에서 객체를 감지할 수 없는 위치에 놓여 있고 단지 에너지만 소비하고 있음을 의미한다. 더구나, 노드가 밀집상태(dense state)로 설치되었다면 많은 중복 메시지가 발생할 것이다. 이러한 상황에서 센서 네트워크의 에너지를 절감하는 분명한 방법은 객체를 추적하는데 참여하지 않아도 되는 노드의 에너지 소비를 중지시키는 것이다. 우리는 몇 가지 일반적인 객체 추적 방법의 에너지 소비량을 비교하고, 에너지 효율적인 객체 추적 알고리즘의 개발 방향을 제시하고자한다. 참고로, 센서 네트워크에서 에너지 효율적 동작의 필요성은 거의 모든 센서 노드가 배터리를 전원으로 사용하므로 센서 노드의 동작기간은 전적으로 배터리 수명에 따라 결정된다. 따라서 극히 드물게 일반 전원을 공급받을 수 있는 환경을 제외한 모든 센서 노드는 에너지 효율적인 동작을 하도록 설계되어야 한다.

이동하는 객체를 추적하는 방법은 일반적으로 다음과 같은 3가지 방법으로 구분할 수 있다. 첫째, 센서 네트워크의 모든 노드가 추적활동에 참여하는 방법, 둘째, 네트워크의 노드를 무작위(random)방식으로 선택하여 객체 추적에 참여하도록 하는 방법, 마지막으로 객체의 이동 경로를 예측하여 예측된 경로 위에 존재하는 노드만 추적에 참여하도록 하는 방법이다. 이때 센서 노드는 활동 중인 상태 즉, 활성화(active) 상태에서 객체를 감지할 수 있고, 주위의 노드와 통신할 수 있다. 이러한 환경에서 에너지 절감은 추적(tracking) 품질과 밀접한 연관이 있다. 센서 네트워크에서 더 많은 노드가 객체를 감지한다면 우리는 객체의 움직임에 민감하게 반응하여 감지 정보를 얻을 수 있다. 반대로 소수의 노드만이 객체를 감지한다면 객체의 복잡한 움직임을 놓칠 수 있다.

본 논문에서 우리는 이동하는 객체를 추적하는데 소모되는 에너지의 양과 객체 감지 정보의 신뢰성의 상관관계를 검토하였고, 진로 예측 알고리즘을 사용하는 경우 영향을 미치는 요소로 객체의 이동성-객체가 움직이는 경로의 복잡성-을 분석하였다. 더불어서 우리는 객체가 다수의 센서 노드에 감지되어 발생하는 중복 정보의 발생정도와 정보의 신뢰성 사

이에 존재하는 균형(tradeoffs) 대해서 검토하였다.

진로 예측을 통해 센서 네트워크의 특정 위치에 놓인 센서들을 활성화 상태로 전환하는 방법에서는 예상 경로위에 설정되는 활성화 노드의 범위에 대해 검토한다. 즉, 예상 경로의 주변에 놓인 노드 중에서 활성화될 노드의 범위를 결정하는 기준을 제시하였다.

이 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 이동 객체 추적과 진로 예측 방법에 대해 살펴보고, 추적 방법을 평가하기 위한 평가 모델과 가정을 3장에서 제시한다. 또한 3장에서는 일반적으로 사용되는 추적 방법과 개선된 진로 예측 알고리즘에 대해 기술한다. 4장에서는 소개된 추적 방법과 평가 factor에 의한 실험결과를 소개하고 분석결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

2. 관련연구

이동하는 객체를 추적하는 응용 서비스는 환경감시, 구조물 감시와 더불어 센서 네트워크의 전형적인 분야의 하나로 취급되어왔다. 객체 추적 분야는 미국 방성의 DARPA 프로그램의 하나인 SensIT로부터 많은 영향을 받았다[7]. Information Driven Sensor Querying(IDSQ) 메커니즘은 Zhao 등이 제안한 방법으로 에너지 효율적인 객체 추적 방법에 대한 고전적 방법을 제안하였다[8,9]. IDSQ는 주어진 이산적(discrete) 시간에 리더(leader) 노드가 존재하며, 리더 노드는 어떤 노드 그룹이 활성화 상태로 전환될 것인지 결정한다. 이때 에너지 소모와 감지할 대상 목표에 대한 정보의 품질을 동시에 고려하는 복합적 함수가 사용되었다.

Liu 등이 제시한 dual-space 객체 추적 방법에서도 어떤 센서 노드가 목표와 더 접근하게 될 것인가에 따라 어떤 센서를 활성화 상태로 전환할 것인지 결정한다[19]. Ramanathan 등은 이러한 의미를 따라 협동적인 감지와 객체추적에 위치중심(location-centric)의 방법을 제안하였다[10,11]. 이 방법은 지리적으로 분할된 센서 그룹을 만들고, 분할된 그룹 사이에 부여된 주소와 통신을 통해 활성화 상태로 전환될 노드 그룹을 선택하는 메커니즘을 개발하였다. Brooks 등은 페로몬(pheromone), Bayesian과 확장된 Kalman Filter 기술을 사용하는 예측기법을 적용한 분산 객체추적 방법을 제안하였다[12,13].

최근의 몇 가지 연구에서는 이동하는 객체에 대해 적절한 탐지범위를 제공할 수 있도록 센서 노드를 설치하는 문제에 대해 초점을 맞추고 있다. Megerian 등은 예시 목표가 주어진 센서 공간에서 이동할 수 있는 최소노출 경로에 대해 연구했는데, 이것은 설치된 센서 노드에서 얻을 수 있는 추적 품질에 대한 최소의 평가요소였다[14,15]. Clonquer 등은 센서 설치전략을 평가했는데, 이것은 센서 노드 설치비용을 고려함과 동시에 목표를 감지할 최악의 확률을 강화하는 것이다[16]. Jung은 모바일 로봇틱 센서 네트워크에 의한 목표 추적방법을 시험하였다[17].

Sundeep 등은 이동하는 목표 추적에서 사용되는 방법에 따라 소비되는 에너지와 센서 네트워크에서 수집되는 추적 정보의 정확도를 간단한 평가요소를 통해 평가했다[18]. 이 연구는 여러 가지 객체 추적방법의 비교를 통해 에너지 효율적인 센서 활성화 전략을 제시하고 있으며 네트워크에 포함된 노드가 통신과 감지가 모두 가능한 상태, 통신만 가능한 상태로 선택적으로 전환할 수 있다고 가정하였다. 참고로 현재 시점에서 일반적인 센서 노드는 에너지 절감을 위한 다단계의 정지(sleep)상태를 정의하고 있다. 따라서 우리는 센서 노드가 활성화와 정지상태만을 갖는 것으로 가정한다. 정지상태의 노드는 주기적으로 활성화되어 메시지를 송수신할 수 있다.

이 논문은 Sundeep이 객체 추적방법의 에너지 효율성 평가를 위해 사용한 평가요소의 일부를 도입하고, 이동하는 객체의 진로를 예측하는 방법을 개선하여 더 나은 에너지 소비효율을 얻을 수 있음을 보여주고자 한다. 이때 사용되는 진로예측 방법은 모든 노드가 활성화 되어 있는 경우에 대비해 약간의 추적 품질만을 희생한다. 또한 활성화된 노드의 감지 범위 즉, 활성화 범위에 따라 발생하는 감지정보의 중복도를 측정하고, 활성화 범위에 따르는 추적품질과 에너지 소비량의 상관관계를 검토하였다.

3. 이동 객체 추적방법

3.1 평가 모델과 요소

3.1.1 기본 모델

이 논문에서 센서 네트워크는 필드에 설치된 N개의 노드가 어떤 시간 T 동안 동작하며, 각 노드는

자신의 위치를 알고 있는 것으로 정의한다. 센서 네트워크에서 이동하는 객체는 단지 하나만 존재하는 것으로 가정하고, 네트워크에 속한 노드는 다른 이웃 노드와 통신할 수 있으며, 범위 R의 감지능력을 갖는다. 이때 센서의 감지는 감지와 비감지의 이진 타입이므로, 객체가 감지되면 1, 아니면 0이다. 이 모델에서 우리는 목표가 감지될 때 목표 객체의 위치정보를 얻게 되는데 목표 위치정보는 $P=(x,y)$ 이며, 이것은 목표를 감지한 노드의 위치정보이다. 만일 어떤 시점 t에 k개의 센서가 목표를 감지했다면 최종적으로 수집되는 위치정보는 $P_i=(x_i,y_i), i=L..k$ 이다. 이제 감지된 목표의 위치는 수집된 위치정보의 평균값으로 결정되므로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_d(t)=(avg(x_d(t)), avg(y_d(t))) \quad (1)$$

이러한 위치 결정 방법은 [18]에서 소개된 일반적 방법이다.

3.1.2 평가요소: 추적오류와 에너지 소모량

여러 가지 객체 추적 방법을 평가할 때 손쉽게 사용할 수 있는 평가요소로 두 가지를 생각할 수 있다. 주어진 센서 네트워크의 가동 시간 T 동안 사용된 에너지 소모량과 추적 결과의 정확도가 그것이다.

A) 에너지 소비 모델 Consumption Model

센서 네트워크에서 객체 추적에 참여한 노드의 개수는 n_d 이며, $n_d \in N$ 이다. 이때 객체 감지에 참여하지 않는 노드 즉, 정지상태의 노드 개수는 $n_s = N - n_d$ 이다. 따라서 소모된 에너지의 양은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$E = n_d P_w, P_w = \text{Energy Consumption} \quad (2)$$

우리는 네트워크에 속한 모든 노드가 활성화와 정지상태의 이진 상태를 가진다고 정의했으므로 주어진 시간 구간 t에 활성화 상태의 node가 소비한 에너지의 합이 추적에 소비한 에너지의 양이 된다.

문제를 단순화해서 센서 노드의 에너지 소비는 통신과 객체 감지에 사용된 것으로 분리할 수 있다. 이때 통신에 사용된 에너지의 양이 모든 노드에서 비슷하다고 가정하면 노드에서 소비되는 에너지의 양은 감지 범위 R에 따라 변화한다. 감지 범위가 넓어지면 에너지 소비도 증가하므로 각 노드의 에너지 소비는 $P_w(R) = P_{wbase} R^a$ 이며, a는 R에 따라 발생하는 감쇄

값으로 노드의 설치 방법이나 지역적 여건 등에 영향을 받는 값이다. 이제 Pw_{base} 를 1로 일반화하면 추적에 소비되는 에너지는 다음과 같이 변경된다.

$$E = naR^a \quad (3)$$

B) 객체 추적 품질 Tracking Quality

이동하는 객체를 추적한 결과는 실제 객체의 위치와 예측된 결과의 차이로 나타낼 수 있다. Euclidean distance 방법을 사용하면 어떤 시간 구간 t에서 목표의 실제위치와 검지 후 계산된 위치 사이의 차이 즉, 추적 품질을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_d(t)=(x_d(t), y_d(t)), \text{Target's Teal Position} \quad (4)$$

$$P_p(t)=(x_p(t), y_p(t)), \text{Target's calculated Position}$$

$$q(t)=\text{dist}(P_p(t), P_d(t))=\sqrt{(x_p(t)-x_d(t))^2+(y_p(t)-y_d(t))^2}$$

주어진 시간 T 동안 객체를 추적하였다면 평균 추적 품질 Q는 다음과 같다.

$$Q=\frac{1}{T}\int_0^T q(t)dt \quad (5)$$

3.2 객체추적 방법

일반적으로 알려진 몇 가지 추적 방법은 다음과 같다.

- Naive Up-state(NU): 이 방법에서는 모든 노드가 활성화 상태이다. 가장 효율이 나쁠 것으로 예측 가능하지만 타 추적 방법의 평가 시 기준점으로 사용할 수 있다.
- Random Up-state(RU): 네트워크에 속한 노드 중에서 확률 p 만큼 무작위로 선택하여 활성화 상태로 전환한다. 에너지 소비는 감소하는 반면 추적 품질의 저하를 예측할 수 있다.
- Selective Up-state upon prediction(SU): 예측 알고리즘에 의해 객체의 이동경로를 예측하고, 경로위에 놓인 노드를 활성화 상태로 전환한다. 이때 활성화되는 노드는 예측된 진로 좌표를 기준으로 반경 R_s 에 속하는 노드이다. sink 노드 또는 sink 노드에 연결된 서버에서 예측 진로를 계산하고, R_s 에 속한 노드에게 활성화 상태로 전환하도록 메시지를 송신한다. 메시지 전송 방법에 따라 에너지 소모와 전송 성공률 등이 달라지지만 이 논문에서는 다루지 않는다.

3.3 추적정보의 중복성

앞에서 검토한 3가지 추적 방법은 모두 다수의 센서 노드에서 동시에 목표를 검지할 수 있다. 따라서 sink 노드는 목표에 대해 중복된 검지 메시지를 수신하고, 중복 메시지에서 추출된 좌표 값의 평균치로 목표의 좌표를 계산한다. 이와 같이 검지정보에 포함된 센서 노드의 위치정보를 평균해서 목표 객체의 위치를 계산하는 방법에서 가장 좋은 경우는 이동하는 목표에 근접한 노드에서 발생한 검지정보만 사용하는 것이다. 그러나 실제로 이동하는 객체로부터 센서 노드까지의 거리를 알 수 없으므로 검지정보를 선택해서 사용할 수 없다.

그러나 중복된 목표 객체에 최대한 근접한 소수의 노드가 검지정보 메시지를 발생하여야 좀 더 정확한 목표 위치정보를 얻을 수 있으므로 센서의 검지범위와 노드의 활성화 범위를 적절하게 조정할 필요가 있다. 센서의 검지범위는 모든 활성화 상태 노드에서 어느 정도 근접한 목표 객체를 탐지할 수 있도록 설정하는 문제이며, 노드의 활성화 범위 R_s 는 선택적 예측기법에서 목표의 예측진로에 놓인 노드를 활성화시킬 때 예측된 미래의 객체 위치에서 산출되는 범위 값이다. 활성화 범위가 커지면 활성화되는 노드의 개수가 증가하고, 검지정보의 중복도도 증가한다. 결과적으로 평균치에 의한 추적오류도 증가할 것으로 예측할 수 있다.

또한 검지 범위가 증가하면 목표 객체의 이동 경로를 알 수 없는 상태에서 객체 추적에 실패하는 확률을 줄일 수 있다. 즉, 센서 노드의 검지 범위와 추적이 성공하는 비율은 비례관계를 갖고, 검지 범위와 추적 품질은 반비례 관계를 갖는다. 실험을 통해 우리는 두 가지 검지 범위의 변화가 추적 품질과 에너지 소비에 미치는 영향의 정도를 측정하고 적절한 검지 범위 설정을 위한 기준을 제시할 것이다.

3.4 개선된 진로 예측 알고리즘

목표 객체의 미래 위치를 예측하고, 예상된 목표의 진로위에 놓인 노드들을 활성화 상태로 전환하는 선택적 예측 방법(SU)에서 사용하는 예측방법은 다음과 같다. 이때 목표는 직선으로 움직이며, 등속도 운동을 하는 것으로 가정한다.

$$P_p(t+1) = (x_p(t+1), y_p(t+1))$$

when $x_p(t+1) = F(t, x_d(t-1), x_d(t))$ and
 $y_p(t+1) = F(t, y_d(t-1), y_d(t))$,
 when $t = \text{unit of time, and}()$
 $F(t, u, w) = w + t \frac{w-u}{t} = w + (w-u)$, (6)
 when $u, w = \text{position of discrete time interval}$
 $t-1 \text{ and } t$

식 (6)은 목표 객체가 등속도로 움직이며, 직선으로 이동하는 것을 가정하고 있으므로 객체가 가변속도로 움직이거나 곡선으로 이동할 경우 예측 좌표의 오차가 심해지는 문제가 있다. 우리는 이러한 문제를 완화하기 위해 목표 객체가 등속도가 아닌 가속도를 사용하여 객체의 이동 속도가 달라지는 경우에 목표의 예측 좌표의 정확도를 개선하였다. 따라서 함수 F는 다음과 같이 수정된다.

$$F(t, v, w) = w + vt + \frac{1}{2}at^2, \text{ when } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, v = \text{velocity} \quad (7)$$

4. 실험

3장에서 기술한 두 가지 평가요소인 에너지 소모량과 추적 품질에 의한 이동 객체 추적 모델의 평가와 움직이는 객체의 미래 위치를 예측하는 알고리즘 개선을 평가하기 위해 시뮬레이션 실험을 수행했다. 시뮬레이션 평면은 고저차이가 없는 평면으로 가정하였으며, 넓이는 300x300 단위, 센서 노드의 배치 위치는 무작위로 결정된다. 노드의 개수는 15unit² 당 1개의 노드가 배치될 수 있도록 250개가 사용되었다.

실험은 3가지 목표 추적 방법별로 11가지 센서 검지범위(10~30 단위)를 조합하여 실시되었다. 그림 1,2,3은 NU, RU, SU의 3가지 추적 방법에 11가지 센서 검지범위를 조합한 결과로 얻어진 추적 품질을 표시한 것이다. 추적 품질은 단위 시간당 이동하는 목표 객체의 위치와 목표를 감지한 센서의 위치정보의 차이인 추적 오차(Q)로 표시한다. 참고로 검지된 목표의 위치는 목표를 검지한 센서의 위치를 산술 평균한 것이다. 그림 1,2,3 모두에서 추적 오차는 센서 검지범위에 비례하여 증가한다. 즉 넓은 범위의 센서 검지범위는 멀리 떨어진 곳의 센서 노드에서도 객체를 검지하여 평균치 계산에 포함됨으로써 추적 오차가 증가한다. 따라서 과도한 센서 검지범위는 바람직하지 않은 것으로 보인다.

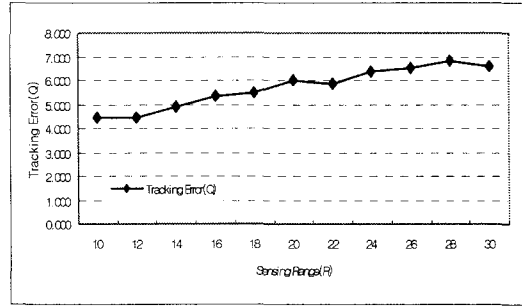


그림 1. Naive Up-State(NU) 방법에서 추적 품질

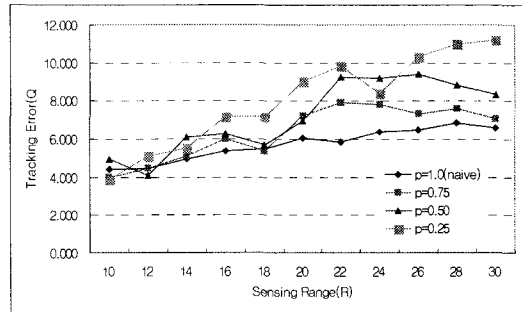


그림 2. Random Up-State(RU) 방법에서 추적 품질

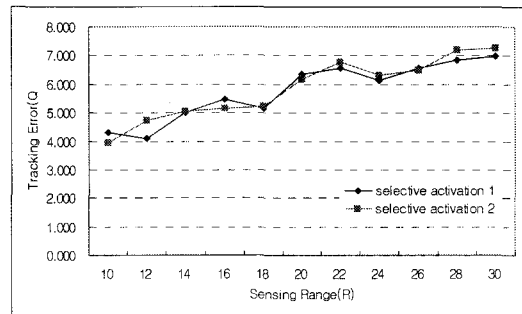


그림 3. Selective Up-State upon prediction(SU) 방법에서 추적 품질

그림 3에서는 이동하는 객체가 등속도로 이동하는 것으로 가정하여 객체의 진로를 예상하여 진로 주변의 센서 노드만 활성화하는 SU-1 방법과 객체의 이동속도가 변화하는 경우 즉, 가속도 값이 0이 아닌 경우에 진로를 예측하는 SU-2 방법을 비교하였다. SU-1보다 SU-2가 더 많은 활성화 범위에서 더 나은 추적 품질을 기록하였다. 예상과는 달리 SU-1과 SU-2의 차이가 비교적 작게 보이는 것은 시뮬레이션 환경에서 이동하는 객체에게 속도의 변화를 충분히 제공하기 어려운 환경에서 나타난 것

로 보인다. 실제 이동하는 객체가 자동차라고 가정할 때 복잡한 도심환경에서 자동차가 지속적으로 동일한 속도로 움직일 수 없음을 생각하면 가속도를 고려하는 것은 충분한 의미가 있다고 판단된다.

그림 4는 사용된 에너지의 양과 추적 오차의 관계를 보여준다. 모든 노드가 활성화 상태에서 목표를 추적하는 NU 방법에서는 가장 좋은 추적 오차를 기록하였지만 가장 높은 에너지 소모를 보여주었다. 이것은 객체의 위치와 상관없이 센서가 동작한 결과이며, 객체 추적에 실패할 확률이 매우 낮아짐을 의미한다. 확률 p 가 0.25, 0.50, 0.75로 주어진 RU 활성화 방식은 전체 노드가 주어진 확률 p 에 따라 무작위로 선택되고 활성화 상태로 전환된다. 확률 p 가 낮을수록 활성화 상태의 노드 개수가 작아지고 에너지 소모는 감소된다. 그러나 활성화 상태로 전환된 노드의 위치가 무작위로 선택됨으로 추적 오차는 증가한다.

추적 오차를 줄이고 동시에 에너지 소모를 감소할 수 있는 방법은 객체의 이동경로를 예측하고, 경로위에 놓인 노드만 활성화 상태로 전환하는 것이다. 목표 객체의 경로와 무관한 나머지 노드는 정지 상태를 유지하므로 에너지 소비가 감소한다. 그림 1과 3을 비교하면 SU는 NU와 거의 대등한 추적 품질을 기록하고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 알려진 객체의 등속도 경로 예측은 3.4절에서 기술한 식으로 쉽게 구할 수 있다. 그러나 3.4절의 식은 객체가 가변속도로 이동하거나 직선운동이 아닐 경우 좋은 예측 값은 구하기 어렵다. 우리는 객체의 가속도 운동 상태에서 객체의 미래위치를 예측하도록 식을 변경하고 selective 2번으로 이름 붙였다. selective 2번 방법은 에너지 소모율과 추적 오차 모두에서 개선된 결과를 관찰하였다.

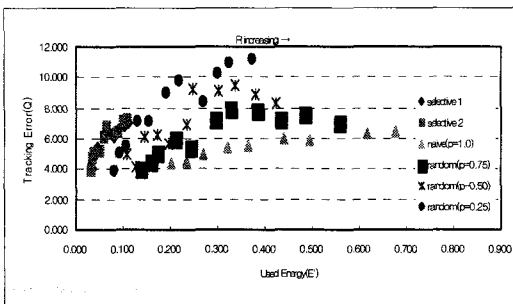


그림 4. 추적 품질과 에너지 소비량 비교

그림 5는 selective 2를 적용할 때 활성화 범위 R_s 의 변화에 따라 발생하는 검지정보의 중복도를 표시한 것이다. 검지정보는 목표 객체가 센서 노드 근처를 통과할 때 발생하므로 활성화된 노드의 개수가 많을수록 중복도가 증가한다. R_s 가 30단위일 때 가장 높은 중복도를 기록하였는데 이것은 센서의 검지범위를 최대 30까지만 설정하고 실험을 했기 때문이다. 또한 실험에 사용된 객체의 이동 패턴이 비교적 단순하여 예측 알고리즘이 거의 정확하게 미래의 목표위치를 예상함으로써 활성화 범위와 센서의 검지범위가 동일한 의미의 값으로 사용되었음을 의미한다.

그림 6은 활성화 범위를 10~50 단위로 변화시키면서 측정한 에너지 소비량과 추적 품질의 관계를 표시하고 있다. 추적 품질과 에너지 소비량은 모든 센서 검지범위의 값을 평균한 것이다. 활성화 범위가 30일 때 최소의 에너지 소비로 가장 좋은 추적 품질을 기록하였는데 이것은 센서의 검지범위와 활성화 범위의 관계에서 너무 작거나 큰 값의 활성화 범위는 바람직하지 않다는 것을 의미한다.

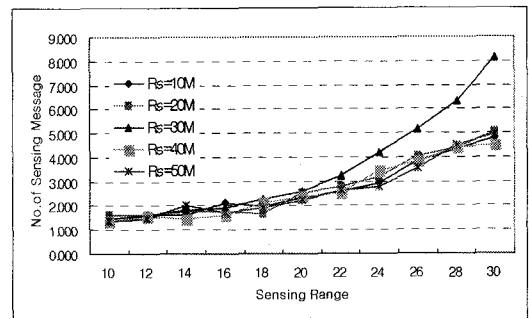


그림 5. 노드 활성화 범위(R_s)에 따른 검지정보의 중복도

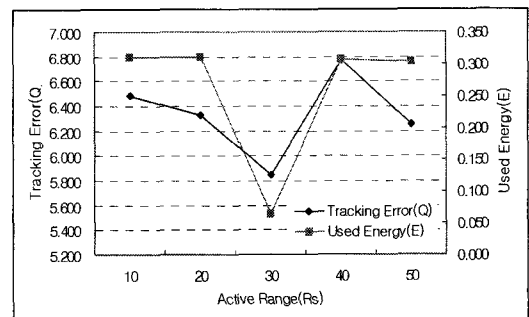


그림 6. 노드 활성화 범위에 따른 평균 추적오차와 에너지 소비량

5. 결론 및 향후 연구방향

센서 네트워크 분야에서 이동하는 객체를 추적하는 연구는 전형적인 응용분야로 생각된다. 우리는 이동 객체를 추적하는 다양한 방법에 따라 추적 품질과 에너지 소비량을 검토하고 비교하였다. 3가지 추적 방법 중에서 목표 객체의 진로를 예측하는 방법이 가장 우수한 결과를 기록하였다. 또한 우리는 개선된 진로예측 방법을 통해 더 나은 에너지 소모율과 추적 품질을 얻을 수 있었다. 실험을 통해 센서의 검지범위 확대는 추적 품질을 저하시키는 요소로 작용하며, 선택적 활성화 방법(SU)에서 활성화 범위는 센서의 검지범위와 상관관계가 있다. 즉, 이동하는 객체의 미래위치를 잘 예측한다면 활성화 범위는 센서의 검지범위보다 커질 필요가 없다.

본 연구의 향후 계획은 두 가지로 정리할 수 있다. 먼저 등속도와 가속도를 선택적으로 적용할 수 있는 방법을 고려한다. 두 번째 SU 방법을 위해 이동 객체의 움직임 예측 알고리즘을 개선하는 것이다. 이동하는 객체의 움직임이 단순한 경로가 아닐 경우에는 SU 방법도 RU방법과 유사한 결과를 도출할 것으로 예상되므로 다양하고 복잡한 이동 객체의 움직임을 예측할 수 방법을 연구하는 것 중요한 작업이 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Alberto Cerpa, Jeremy Elson, Deborah Estrin, and Lewis Girod, "Habitat monitoring: Application driver for wireless communications technology," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 31, No. 2, pp. 20-41, 2001.
- [2] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors," *Communications of the ACM*, Vol. 43, No. 5, pp. 551-558, 2000.
- [3] J. Warrior, "Smart Sensor Networks of the Future," *Sensors Magazine*, 1997.
- [4] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, "Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks," *ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networks (MobiCom '99)*, pp. 263-270, 1999.
- [5] National Research Council, *Embedded, Everywhere: A Research Agenda for Networked Systems of Embedded Computers*, National Academies Press, Washington, S.C., 2001.
- [6] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102-114, 2002.
- [7] DARPA SensIT Program, <http://www.darpa.mil/ito/research/sensit/>, 2005. 11.
- [8] F. Zhao, J. Shin, and J. Reich, "Information-Driven Dynamic Sensor Collaboration for Tracking Applications," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 19, No. 2, pp. 61-72, 2002.
- [9] M. Chu, H. Haussecker, and F. Zhao, "Scalable information-driven sensor querying and routing for ad hoc heterogeneous sensor networks," *International Journal on High Performance Computing Applications*, Vol. 16, No. 3, pp. 293-314, 2002.
- [10] R. R. Brooks, P. Ramanathan, and A. Sayeed, "Distributed Target Tracking and Classification in Sensor Networks," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 91, No. 8, pp. 1163-1171, 2003.
- [11] P. Ramanathan, "Location-centric Approach for Collaborative Target Detection, Classification, and Tracking," *IEEE CAS Workshop*, 2002.
- [12] R. Brooks, C. Griffin, and D. S. Friedlander, "Self-Organized distributed sensor network entity tracking," *International Journal of High Performance Computing Applications*, Vol. 16, No. 3, pp. 207-219, 2002.
- [13] R. Brooks and C. Griffin, "Traffic model evaluation of ad hoc target tracking algorithms," *The International Journal of High Performance Computing Applications*, Vol. 16, No.

3, pp. 221-234, 2002.

[14] S. Megerian, F. Koushanfar, G. Qu, G. Veltri, and M. Potkonjak, "Exposure InWireless Sensor Networks: Theory And Practical Solutions," *Journal of Wireless Networks*, Vol. 8, No. 5, pp. 443-454, 2002.

[15] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, G. Qu, and M. Potkonjak, "Exposure In Wireless Ad Hoc Sensor Networks," *International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '01)*, pp. 139-150, 2001.

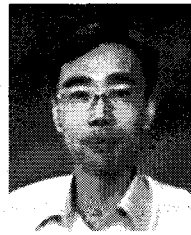
[16] T. Clouqueur, V. Phipatanasuphorn, P. Ramanathan, and K. K. Saluja, "Sensor Deployment Strategy for Target Detection," *The First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA '02)*, pp. 42-48, 2002.

[17] B. Jung and G.S. Sukhatme, "Tracking Targets using Multiple Robots: The Effect of Environment Occlusion," *Autonomous Robots*, Vol. 13, No. 3, pp. 191-205, 2002.

[18] Sundeep Pattern, Sameera Poduri, and

Bhaskar Krishnamachari, "Energy-quality tradeoffs for target tracking in wireless sensor networks," in *International Symposium on Aerospace/Defense sensing Simulation and Controls, Aerosense*, pp. 32-46, 2003.

[19] Jie Liu, Patrick Cheung, Leonidas Guibas, and Feng Zhao, "A Dual-Space Approach to Tracking and Sensor Management in Wireless Sensor Networks," *Palo Alto Research Center Technical Report, 2002-10077*, 2002.



오 승 현

1988년 동국대학교 전자계산학과(학사)
 1998년 동국대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2001년 동국대학교 컴퓨터공학과(박사)
 1987년~1996년 (주)대우엔지니어링

어빙
 2002년~현재 동국대학교 컴퓨터멀티미디어학부 조교수
 관심분야 : 실시간 프로토콜, 차세대 네트워크, 센서 네트워크