

## 주기적인 위치 보고 이동체의 불확실 위치 처리

진희규<sup>0</sup> 김동현\* 임덕성\* 홍봉희<sup>0</sup>

부산대학교 컴퓨터공학과<sup>0</sup>, 동서대학교 소프트웨어전문대학원\*, 영진전문대학 컴퓨터정보기술계열\*,  
{heegy, bhong}@pusan.ac.kr<sup>0</sup>, pusrover@dongseo.ac.kr\*, junsung@yjc.ac.kr\*

### Processing of uncertain position of regularly sampling moving objects

Heegy Jin<sup>0</sup> Donghyun Kim\*, Duksung Lim\*\*, Daesoo Cho\*, Bonghee Hong<sup>0</sup>

Dept. of Computer Engineering, Pusan National University<sup>0</sup>

Graduate School of Software, Dongseo University \*

Division of Computer Information Technology, Yeungjin College\*\*

#### 요 약

위치기반서비스 응용 분야에서 위치 데이터를 저장하기 위하여 일반적으로 이동체의 위치 데이터를 주기적으로 수집한다. 주기적으로 수집된 위치 데이터는 보고 주기 사이의 위치 변화를 반영하지 못하기 때문에 시간에 대한 선형 함수를 이용하여 예측된 위치 데이터와 오차가 발생한다. 따라서 오차가 존재하는 불확실한 미래 위치 데이터로 인하여 미래 위치 색인에서 검색의 정확도가 떨어지는 문제점이 발생한다.

이 논문에서는 주기적인 위치 보고 이동체에서 발생하는 불확실한 위치 데이터를 처리하기 위해서 예측된 위치 데이터에 예측 오차분을 반영한 불확실성 영역을 사용한다. 그리고 이동체의 불확실성 영역을 설정하기 위하여 최근 예측 오차 가중치 기법과 칼만 필터 기법을 제안하고 이를 기반으로 하는 불확실 위치 처리 기법을 이동체 미래 위치 색인에서 구현하고 성능 비교 평가를 수행한다. 성능 평가 결과에 따르면 기존의 선형 함수 기반 예측 기법보다 불확실 위치 처리 기법이 영역 검색의 정확도가 향상되는 장점을 가진다.

#### 1. 서론

GPS, 무선 이동 통신 기술의 발달로 위치 기반 서비스(LBS: Location Based Service)의 요구가 증가하고 있다. LBS 응용 분야로 친구 찾기, 네비게이션 시스템 등이 있다. 이러한 시스템 응용을 위하여 이동체의 위치 정보를 관리하고 현재 및 가까운 미래 위치 질의를 효과적으로 처리하는 색인 기법이 필요하다. 예를 들어 “현재부터 10분 이내에 부산대 앞을 지나갈 수 있는 차량을 검색하라?”와 같은 질의를 처리할 수 있어야 한다.

위치 기반 서비스의 응용분야에서 위치 데이터를 저장하기 위하여 주기적으로 이동체의 위치 데이터를 수집한다. 주기적으로 수집된 위치 데이터는 보고 주기 사이의 위치 변화를 반영하지 못하기 때문에 시간에 대한 선형 함수를 이용하여 예측된 위치 데이터와 오차가 발생하게 된다. 따라서 이러한 오차가 존재하는 불확실한 미래 위치 데이터를 시간에 대한 선형 함수를 이용한 미래 위치 색인에 적용할 경우 검색의 정확도가 떨어지는 문제점이 발생한다.

이동체 미래 위치 예측 방법으로 위치 정보와 속도정보를 시간에 대한 선형함수화[1]해서 예측하는 방법이 가장 대표적이다. 사용한다. 그러나 시간에 대한 선형 함수로 위치를 예측하기 위해서는 이동체가 특정한 임계영역 내에 있어야 하는 전제 조건이 있기 때문에 위치 예측이 부정확한 이동체를 예측할 수 없다. 이동체 위치의 불확실성을 반영한 기법으로 시간에 대한 선형 함수로 예측한 오차를 반영한 색인[3]이 있다. [3]은 불확실성 영역을 설정하는 방법을 제시하고 있지 않다. 그러므로 이동체의 이동 특성을 반영하지 못하는 문제점이 있다.

이 논문에서는 주기적인 위치 보고 이동체에서 발생하는 불확실한 위치 데이터를 처리하기 위해서 시간에 대한 선형 함수로 예측된 위치 데이터에 위치 예측 오차를 반영한 불확실성 영

역을 사용한다. 그리고 이동체의 불확실성 영역을 설정하기 위하여 과거의 이동체의 위치 예측 오차를 이용한 최근 예측 오차 가중치[4] 기법과 칼만 필터[5] 기법을 제안하고 이를 기반으로 하는 불확실 위치 처리 기법을 이동체 미래 위치 색인에서 구현한다. 또한 성능 평가를 통해서 기존의 선형 함수를 이용한 예측 기법보다 불확실 위치 처리 기법에 영역 검색의 정확도가 향상됨을 보인다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 관련 연구를 소개하고 3장에서는 대상 환경 및 문제 정의를 기술한다. 4장에서는 이동체의 불확실성 처리 방법과 색인 적용 방법을 제시하고 5장에서는 실험 및 결과분석을 보이고 6장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

#### 2. 관련 연구

시간에 따라 연속적으로 변하는 이동체의 위치를 모두 데이터베이스에 저장할 수가 없기 때문에 이산적인 위치 데이터를 저장하게 된다. 이러한 이산적인 이동체의 위치를 토대로 하여 보고되지 않은 위치를 추정하기 위해서 이동체의 위치를 시간에 대한 선형 함수로 모델링한 기법[1]이 활발히 연구되고 있다. [1]을 이용해서 이동체의 미래 위치에 대한 검색을 위한 색인 기법으로 TPR-tree[2]가 있다. 이동체의 속도와 방향을 시간에 대한 함수의 매개변수로 사용하여 R\*-tree 구조로 색인화하였다. 그리고 이동체의 속도와 방향이 특정 임계값 이상 변화하는 경우에만 갱신함으로써 갱신 횟수를 줄이고, 이동체의 위치가 선형함수로 예측한 위치에서 임계 영역내에 있음을 보장하고 있다. 그러나 TPR-tree는 이동체의 위치 보고 사이의 선형 함수에 의한 위치 예측의 오차를 반영하지 못하고 있다.

이동체 위치의 불확실성을 반영한 색인 기법으로 시간에 대한 선형 함수로 예측한 오차를 반영한 색인[3]이 있다. 이동체

의 속도에 미리 설정한 속도 오차만큼 확장함으로써 위치 보고 사이의 이동체의 불확실성을 처리하고 있다. 그러나 [3]은 불확실성 영역을 설정하는 방법을 제시하지 않고 특정한 속도 값으로 확장하기 때문에 이동체의 위치 보고가 속도와 방향의 임계영역을 벗어나서 이루어지는 경우에 값을 설정하기가 어렵고, 위치 보고 때마다 변하는 위치 예측의 오차를 반영하지 못한다.

3. 대상 환경 및 문제 정의

3.1. 대상 환경

도에서의 이동체와 같이 빈번한 위치 변경이 발생하는 환경에서 위치 변경시 마다 위치를 샘플링하는 방법은 많은 통신 비용을 수반한다. 이 논문에서는 이동체의 통신비용을 최소화할 수 있는 주기적인 시간 간격으로 이동체의 위치를 보고하는 환경을 대상으로 한다.

3.2. 점의

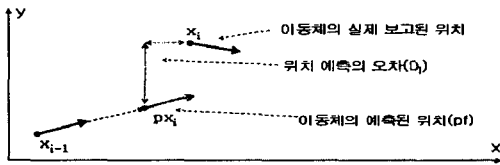


그림 1 위치예측의 오차

그림 1에서와 같이 i번째의 위치 보고 정보를  $f_i = (x_i, y_i, Vx_i, Vy_i, t)$ 로 할 때, i번째의 위치 보고때 예측된 위치  $pf_i = (pf(x_i), pf(y_i))$ 로 정의한다.

$$pf(x_i) = x_{i-1} + Vx_{i-1} * (t_i - t_{i-1})$$

i번째 위치 보고때 위치 예측의 오차를  $D_i = (Dx, Dy)$ 로 정의한다.

$$Dx_i = |x_i - pf(x_i)| = |x_i - (x_{i-1} + Vx_{i-1} * (t_i - t_{i-1}))|$$

3.3. 문제 정의

이동체의 현재 및 가까운 미래 위치는 이동체의 위치와 속도를 기반으로 만든 선형 함수로 예측한다. 이 선형 함수에 특정한 시간을 넣으면 해당 시간의 이동체 위치를 예측할 수 있다. 선형 함수를 사용해서 위치를 예측하는 방법은 적은 저장 공간을 차지하면서도 매우 간단한 방법이다. 그러나 이동체가 주기적으로 위치를 보고하는 환경에서 시간에 대한 선형 함수로 예측하는 방법은 보고 시점에 이동체의 위치에 대한 제한이 없으므로 위치 예측의 오차를 크게 발생시킨다. 이러한 이동체의 위치 예측의 오차는 영역 질의의 정확도가 낮아지는 문제점을 발생시킨다.

예를 들어 이동체의 가까운 미래 위치를 효율적으로 검색하기 위해 색인을 사용하는 기법에서 질의 처리는 다음과 같은 2단계 과정을 수반한다. 첫번째 단계는 색인을 이용하여 후보 객체를 선출하는 필터링 단계이고, 두번째 단계는 후보 이동체에 대한 실제 위치를 획득하여 정확한 검색 결과를 산출한다. TPR-tree와 같이 선형함수로 위치를 예측한 색인은 예측한 위치가 위치 변화를 반영하지 못하고 특정 시간에 대한 임계영역을 포함한 매우 작은 영역으로 표현되기 때문에 실제 질의 결과에 해당하는 이동체를 검색하지 못하는 경우가 빈번히 발생한다.

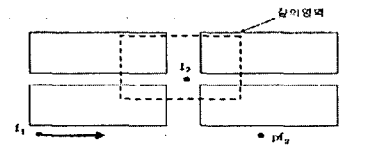


그림 2 영역 검색의 정확도 저하 문제점

그림 2와 같이  $t_2$ 시간에 점선영역에 대한 영역검색을 수행하면 실제 이동체의 위치가  $t_2$ 에 있으므로 검색되어야 하지만

TPR-tree에서는  $pf_2$ 위치 있는 것으로 예측하기 때문에 검색할 수가 없는 문제점이 발생한다.

4. 이동체 위치의 불확실성 처리

4.1. 불확실성 영역

이동체의 위치 보고 사이의 위치 변화를 반영하기 위해서 불확실성 영역을 사용한다.

[정의1] 불확실성(uncertainty): 이동체 위치 예측의 불확실성으로써, 시간에 대한 선형함수로 예측한 위치와 실제 보고된 이동체 위치의 오차이다.

[정의2] 불확실성 영역(uncertainty region, UR): 이동체 위치 예측의 불확실성을 반영한 영역으로서, 시간에 대한 선형함수로 예측한 위치에 이동체의 위치 예측의 오차를 반영한 영역이다. 불확실성 영역은  $UR_i = (UR(x_i)^+, UR(x_i)^-, UR(y_i)^+, UR(y_i)^-)$ 로 정의한다.

$$UR(x_i)^+ = \min(pf(x_i), pf(x_i) - Dx_i)$$

$$UR(x_i)^- = \max(pf(x_i), pf(x_i) + Dx_i)$$

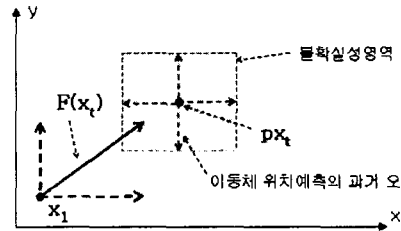


그림 3 불확실성 영역

그림 3과 같이 t시간의 이동체 x의 위치는 선형함수  $f(x_t)$ 에 의해서  $p_{x_t}$ 으로 예측하게 된다. 예측된  $p_{x_t}$ 에서 과거의 위치 예측 오차를 반영해서 확장한 영역(점선으로 된 영역)이 t시간의 이동체 x에 대한 불확실성 영역이 된다. 이는 공간의 각 축으로 이동체 위치 예측을 오차를 현재 이동체가 이동할 수 있는 영역으로 설정함으로써 이동체 위치의 불확실성을 반영한다.

4.2. 불확실성 영역 설정 방법

불확실성 영역은 이동체의 과거 위치 예측의 오차를 반영해서 설정한다. 즉, 과거에 발생한 이동체의 위치 예측의 오차를 이용하여 현재의 위치 예측의 오차 크기를 추정해서 불확실성 영역에 반영한다. 현재의 위치 예측의 오차를 추정하기 위한 방법으로 이동체의 과거 위치 예측의 오차를 최근의 예측 오차에 가중치를 두는 방법과 동적 예측기법인 칼만 필터를 적용한 예측 방법을 사용한다.

가) 최근 예측 오차 가중치

이동체의 움직임은 최근의 움직임에 영향을 많이 받는 특성을 반영해서 최근의 위치 예측 오차에 더 많은 가중치를 두는 방법이다. t 시간의 이동체의 위치 예측의 오차를  $Dx_t$  라고 할 때 t+1시간의 위치 예측의 오차를 추정할 값  $Dx_{(t+1)}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$Dx_{(t+1)} = Dx_t * F + Dx_{t-1} * F^2 + Dx_{t-2} * F^3 + \dots + Dx_1 * F^n$$

$$= (Dx_t + Dx_{(t-1)}) * F$$

F는 과거 오차 정보의 반영 가중치로써 0부터 1사이의 크기를 가진다. 0에 가까울수록 불확실성 영역의 크기 작아지고, 1에 가까울수록 불확실성 영역의 크기가 커지게 된다.

나) 칼만 필터

칼만 필터는 시간의 흐름에 따라 값을 추정하고, 추정한 값의 오차를 보정할 수 있는 특성을 가진 동적 모델이다. 불확실성 영역을 설정하기 위해 칼만 필터를 사용한 구조는 그림 4와 같다. 칼만 필터의 기본적인 구조는 예측 단계에서 상태방정식에 의해서 전 상태에서부터 시스템의 내적 오차를 합하여 현 상태의 상태 벡터가 결정되고, 새로운 이동체의 위치보고가 입력된 위치 예측의 오차와 동적회귀계수 역할을 하는 상태 벡터 그리고

출력오차의 함으로 관측치(현 상태의 위치 예측의 오차를 추정 한 값)이 생성된다.

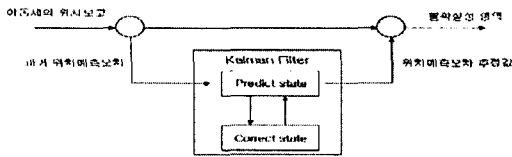


그림 4 칼만 필터 적용 구조

칼만 필터의 상태방정식과 출력방정식은 다음과 같다.

$$\Theta_t = G_t * \Theta_{t-1} + w_t$$

$$Y_t = F_t * \Theta_t + v_t$$

위 식에서 입력값으로 이동체의 위치 예측의 오차를 넣으면 다음 상태의 위치 예측의 오차를 추정 한 값( $Y_t$ )이 생성된다. 그러므로  $t+1$ 시간의 위치 예측의 오차를 추정 한 값  $Dx_{t(t+1)}$ 은  $Dx_{t(t+1)} = Y_t$  와 같이 설정된다.

#### 4.3. 색인 적용 구조

불확실성 기반의 이동체 현재 및 가까운 미래위치 색인은 TPR-tree의 구조에 불확실성 영역을 반영한 구조로 이루어진다. 시간에 대한 선형 함수는 현재 이동체의 위치 보고 정보 ( $x, y, vx, vy$ )로 이루어진다. 시간에 대한 선형 함수는 다음과 같이 설정된다.

$$f(x_t) = x_t + vx_t * (t_{upd})$$

이동체의 위치 예측의 오차를 추정 한 값을  $D_i$  라고 할 때  $Dv_i$  는 다음과 같은 속도에 대한 벡터성분으로 정의된다.

$$Dv_i = (Dv(x_i), Dv(y_i))$$

노드의 TPBR의 구조는 ( $x^t, x^d, vx^t, vx^d$ )와 같이 표현된다. TPBR의 갱신 방법은 위치 좌표는 불확실성 영역의 값으로 갱신하고, 속도값은 위치 예측 오차의 속도성분으로 갱신한다.  $t$ 시간에 TPBR의 정보를 갱신할 경우 다음과 같은 수식으로 갱신된다.

$$x^t = \min(pf(x), UR(x)^t)$$

$$x^d = \max(pf(x), UR(x)^t)$$

$$vx^t = \min(vx^t, vx^t - Dv(x_i))$$

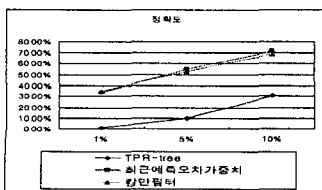
$$vx^d = \min(vx^d, vx^d + Dv(x_i))$$

공간의 다른 한 축( $y$ 축)에 대해서도 같은 방법으로 설정할 수 있다. 질의 처리시에 이동체와 질의 영역의 겹침은 질의 시간의 불확실성 영역과 겹침을 검사한다. 위와 같이 TPR-tree의 구조를 변경하면 삽입과 삭제의 방법은 TPR-tree와 동일한 방법으로 처리가 가능하다.

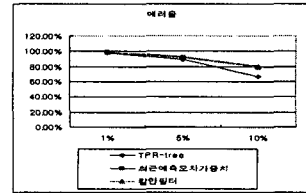
#### 5. 실험 및 결과분석

성능 평가는 가까운 미래 질의에 대해서 실제 찾은 검색 결과와 검색 결과중에서 잘못 찾은 검색된 결과에 대해서 측정하였다. 데이터셋의 이동체의 수는 1000개이고 보고횟수도 1000회이고, 공간 축의 1%, 5%, 10%의 영역 질의를 1000회 반복하여 측정하였다.

실험은 TPR-tree 와 불확실성 기반 색인에 대해서 실시하였다. 불확실성 기반 색인은 최근 예측 오차 가중치 방법과 칼만 필터 방법에 대해서 각각 실시하였다.



(a) 검색 결과 정확도



(b) 검색 결과 에러율

#### 그림 5 검색 결과

그림 5는 영역 검색의 결과를 나타낸 그림이다. 결과 정확도는 전체 검색 결과중에서 정확한 검색 결과가 포함된 비율을 나타내고, 에러율(false hit ratio)은 전체 검색 결과중에서 잘못 검색된 결과의 비율을 나타낸다. 결과의 정확도가 높으면서 에러율이 낮을수록 좋은 성능을 가진다고 할 수 있다.

실험 결과 TPR-tree는 검색의 정확도가 10%~30%이고, 최근 예측 오차 가중치 방법과 칼만 필터 방법은 30% ~ 70%이다. 반면에 에러율은 모두 70% ~ 99%이다. 그리고 검색 영역이 넓을수록 정확도가 높고, 에러율이 낮으므로, 이동체의 불확실한 위치를 예측은 정확한 위치 예측보다는 넓은 범위에 대한 영역 검색에 효과적이라 할 수 있다. TPR-tree는 검색하는 이동체의 수가 매우 작고, 정확도가 낮으므로 이동체의 위치가 불확실한 환경에서 효과가 매우 낮음을 알 수 있다. 그러므로 최근 예측 오차 가중치 방법과 칼만 필터 방법에 의한 위치 예측이 정확도는 높으면서 에러율은 동일함으로 효과적이다.

#### 6. 결론

이 논문에서는 주기적으로 보고되는 이동체가 가지는 위치 예측의 오차로 인한 질의의 정확도가 낮아지는 문제점을 개선하기 위해서 이동체의 이동 가능한 영역인 불확실성 영역을 사용하고, 불확실성 영역을 설정하는 방법으로는 이동체의 과거 위치 예측의 오차를 최근 예측 오차에 가중치를 두는 방법과 칼만 필터를 이용하는 방법을 제안하였다. 성능평가 결과 칼만 필터를 사용해서 현재의 위치 예측의 오차를 추정하는 방법과 최근의 오차에 가중치를 두는 방법이 TPR-tree에 비해 이동체의 불확실 위치를 처리하는데 효과적임을 보였다. 두 가지 방법의 유사한 성능을 보이는데, 칼만 필터를 사용하는 경우는 위치 예측의 오차뿐만 아니라 다른 요소(교통정보, ...)를 반영해서 현재의 위치 예측의 오차를 추정할 수 있으므로, 응용에 따라서 추가적인 요소의 반영으로 성능의 향상을 기대할 수 있다.

향후 정확도를 향상시키기 위한 추가적인 기법에 대한 연구와 위치 보고 시간 간격에 따른 정확도와 검색 비용에 대한 상관관계에 대한 연구가 필요하다.

#### 7. 참고 문헌

- [1] D.Pfoser, C.S. Jensen, " Capturing the Uncertainty of Moving-Object Representations", SSD, p111-132, 1999
- [2] S.Saltenis, C.S.Jensen, S.T.Leutenegger, M.A.Lopez, " Indexing the Positions of Continuously Moving Objects", In Proc. SIGMOD 2000 Conf., p331-342, 2000.
- [3] J.H.Hosbond, S.Saltenis, R.Ørtoft, " Indexing Uncertainty of Continuously Moving Objects" DEXA03, p911-915, 2003
- [4] 진희규, 김동현, 임덕성, 조대수, 홍봉희, " 텔레매트릭스를 위한 불확실성 기반의 이동체 색인", 정보과학회 2004 춘계 학술발표대회논문집 (제31권 1호) pp 100~102
- [5] West, M and Harrison, J, " Bayesian Forecasting and Dynamic Models", 1997, springer
- [6] Tomas Brinkhoff, " Generating Network-Based Moving Objects", Scientific and Statistical Database Management, pp253-255, 2000