2001년 한국정보처리학회 추계 학술발표논문집 제8권 제2호

이동객체의 경로 추정을 위한 다항회귀함수 적용 및 구현†

양은주°, 정영진, 장승연, 안윤애, 류근호
충북대학교 데이터베이스 연구실
email: {ejyang, yjjeong, syjang, yeahn, khryu}@dblab.chungbuk.ac.kr

Adaptation and Implementation of Polynomial Regression Function for Estimating Moving Object's Trajectory

Eun Joo Yang°, Young Jin Jung, Seong Youn Jang, Yoon Ae Ahn, Keun Ho Ryu
Database Laboratory, Chungbuk National University

요 약

실세계의 움직이는 여러 이동객체들은 시공간적인 특성을 지니고 있다. 이들 객체는 실세계의 공간 즉, 점들의 집합 내에 위치해 있으며, 이들을 데이터베이스로 표현 및 관리하기 위해서는 점 혹은 영역 형태로 표현하고 저장하게 된다. 이 논문에서는 샘플링되지 않은 시점에 대한 이동객체의 위치 질의시 발생할 수 있는 이동객체의 불확실성을 처리하는 데 있어서, 기존의 선형 보간법 대신 이동객체의 위치값 자체의 오차범위까지 고려하는 다항회함수(polynomial regression function)을 이용한 이동객체의 불확실한 이동위치 추정 방법을 제시하였으며, 이동객체의 이동경로를 구현하였다. 다항회귀모형을 이용할 경우 선형 보간법 보다 추정된 위치값에 대한 오차를 줄일 수 있으며, 이동객체의 과거 및 미래 위치값을 사용자에게 반환해 줄 수 있는 장점을 가진다.

1. 서론

실세계의 공간상에서 움직이는 여러 객체들 즉, 시간에 따라 공간상에서 객체의 위치나 형태가 변하는 객체를 시공간 이동객체(Spatiotemporal Moving Objects)라 하며, 이는 이동점(Moving Point)과 이동영역(Moving Region)으로 나눌 수 있다. 이동점은 시간에 따라 위치가 변하며 특정 시점에 대한 질의는 그 시간에 이동객체가 존재하는 위치를 표현하는 점으로 반환된다. 이에 관한 질의로는 범죄자를 찾기 위한 질의 유형에서 "2001년 6월 6일 아침 11시 5분에 청주역을 지나갔었던 사람은 누구인가?"를 들 수 있다. 이동영역은 시간에 따라 위치와 형태가 변하며 특정 시점에 대한 질의는 그 시점에 이동영역이 존재하는 위치와 모양을 표현하는 영역을 반환한다. 이동영역에 관한 질의의 예로는 "바다 위를 지나고 있던 유조선이 난파하여 기름이 유출될 경우, 바다 위를 떠다니는 기름오염영역이 차츰 작아져서 완전히 소멸될때는 언제인가?"를 들 수 있다. 이 질의들을 살펴보면, 앞으로 이동객체가 어디에 위치해 있을까 혹은 과거 어디에 위치해 있었는가를 다루고 있다. 이와 같이 샘플링되지 않은 과거 혹은 미래 시점의 이동객체에 대한 질의시, 시스템은 이에 대한 위치값을 추정해서 질의자에게 반환해줘야 할 필요가 있다. 이를 위한 기존의 대표적인 연구로는 이동객체의 샘플링 되지 않은 과거 위치를 선형보간법으로 처리하는 CHOROCHRONOS 프로젝트[Pfos99]와 샘플링 되지 않은 미래 위치 처리를 위해 이동객체의 현 속력이나 방향 같은 동적 속성 값을 가지고 이동객체의 향후 이동위치를 미리 계산해서 미래 테이블에 저장하는 DOMINO 프로젝트[Sist97]를 들 수 있다. 그러나 이는 동적 속성값이 매번 변할 때마다 미래 테이블을 연속적으로 갱신해야 하므로 갱신비용이 많이 들며, 과거의 이력정보는 저장하지 않는다. 즉, 과거 위치에 대한 질의시 응답을 처리하지 못한다는 단점을 지니고 있다. 또한 [Pfos99]에서와 같이 측정장비로 측정시 오차가 없다는 가정하에 선형보간법을 이용할 경우, 계산 시간을 단축할 수 있지만 이는 아주 큰 오차를 포함하는 이동객체 위치 추정치를 반환한다[Bart97]. 따라서 [More99]에서는 오차 추정치를 최소화하는 통계적인 접근방법을 이용해 유효시간구간(valid time interval)내의 이동객체의 움직임을 선형회귀함수로 표현하는 방법을 사용한다. 그러나, 연속적인 이동객체의 이동경로는 직선이라기 보다는 곡선에 가깝다. 따라서, 이 논문에서는 샘플링된 이동객체의 위치값 자체의 오차 범위를 고려하는 통계적인 기법인 다항회귀함수를 통해 샘플링되지 않은 이동객체의 위치 추정방법을 제시하였으며, 이를 이용해 이동객체의 이동경로를 구현하였다.

2. 관련연구

시공간 시스템은 시간에 따라 변하는 공간 객체만을 취급한다. 이들 시공간 응용은 지구 과학, 경제학과 사회경제학, 도시계획, 교통 제어, 토지정보시스템, 환경 보호나 의료영상과 같은 여러 종류의 도메인에서 시간과 공간 컴포넌트들을 통합함으로써 유용하게 쓰일 수 있다. 그러나 두 컴포넌트는 독립적으로 연구되어 왔다. 기존의 시간 데이터베이스는 시간에 따라 연속적으로 변하는 객체에 대한 정보 표현은 지원하지 않고 있다. 이 시간 데이터베이스는 객체의 이동이나 회전 혹은 변형된 정보를 조정해야하는 GIS 응용이나 온도 혹은 기압과 같은 연속적으로 변하는 속성들을 취급하는 시스템에 유용하다. 시간 연속

† 이 연구는 1999년도 KOSEF 특정기초(#1999-2-303-006-3) 연구비 지원으로 수행되었음.

모델에서 시간은 실수로 취급되는데, 이런 무한한 집합들을 컴퓨터에 의해 직접 저장하거나 조작하기란 불가능하다 [More99]. 따라서 이산적으로 샘플링된 이동객체의 위치를 기반으로 샘플링되지 않은 위치값을 추정시 이에 대한 불확실성이 발생하게 된다. 시공간 도메인에서의 이동 객체의 불확실성에 대한 연구는 그리 많지 않다. DOMINO 프로젝트[Sist97]에서는 시간에 따라 연속적으로 변하는 속성을 취급하는 시스템을 위해 MOST(Moving Objects Spatio-Temporal) 데이터모델과 FTL(Future Temporal Logic)언어를 소개하고 있다. 이 모델에서는 이동객체의 방향이나 속도가 이동객체의 이동 바운드를 초과할 때마다 자동적으로 선형함수가 변하게 된다. FTL 질의어는 이동객체의 미래 위치값에 대한 질의를 처리해준다. [Yeh94]에서는 이동객체의 위치가 어떻게 전개되는지를 표현해주는 행위함수(behavioural function)로서 punctual function과 step function, linear function, interpolation function를 소개하고 있다. 이동객체 위치 추정을 위하여 행위함수 중 [More99]에서는 선형회귀함수를 사용하고 있으며, [Pfos99]에서는 보간함수를 사용하고 있으며, 이동객체의 이동경로 에러 정보를 계산하고 이용하는 방법에 대한 접근방법을 소개하고 있다.

3. 이동객체

3.1 개념

실세계의 공간상에서 움직이는 여러 객체들 즉, 시간에 따라 공간상에서 객체의 위치나 형태가 변하는 객체를 시공간 이동객체라 하며, 이는 이동점과 이동영역으로 나눌 수 있다. 선(line 혹은 curve)은 이동객체가 이동한 것에 대한 추상 혹은 반영을 나타낸 것으로서 어떤 이동객체의 이동이 고려되어야할 대상인가는 중요치 않기 때문에 대부분의 시공간 데이터베이스내에 이동점 혹은 이동영역만을 취급해서 표현하고 저장한다[Erwi98]. 이동점으로 저장되는 이동객체의 예로는 비행기, 사람, 자동차가 있을수 있으며, 이동영역의 예로는 바다 위를 떠다니는 기름오염영역이나 시간에 따라 점점 커지는 암세포영역 등을 예로 들 수 있다. 이처럼 시간에 따라 연속적으로 움직이는 이동객체의 위치값을 데이터베이스에 저장시 이는 이산적으로 저장된다. 따라서 샘플링되지 않은 이동객체의 위치에 대한 질의시 이를 추정해서 리턴해줘야 한다[Pfos99].

3.2 불확실성 발생요인

이동객체의 불확실성은 측정장비로 이동객체를 측정할 때 부터 그리고, 이렇게 불확실하게 측정된 이동객체가 불확실성을 지닌 체 DBMS내에 저장된 후, 질의처리할 때까지 계속 발생할 수 있다. 다음은 이동객체의 불확실성이 발생하는 요인에 대한 예를 표로 나타낸 것이다.

표 1 이동객체의 불확실성 발생요인

발생시점	설 명
측정시	- 아무리 정확한 측정 장비를 사용한다 할지라도 이러한 측정에는 에러 혹은 오차가 발생한다.
샘플링시	- 움직이고 있는 이동객체에 대한 정보가 측정된 시점과 DBMS에 저장되는 시점간에는 오차가 발생한다. - 샘플링주기가 작아짐에 따라 불확실성 발생비율은 반비례한다.
질의시	- 샘플링되지 않은 시점에 대한 이동객체의 정보 질의시 - 질의자가 원하는 이동객체의 정보를 표현하는데 있어 capability가부족할 경우

4. 이동객체의 불확실한 위치 추정

4.1 위치 추정 시나리오

이동점 객체 타입은 크게 자유로운 이동경로를 갖는 객체와 제한된 이동경로를 갖는 객체로 나눌 수 있다 [More99]. 자유로운 이동경로는 n차원의 공간상 이동점객체의 움직임에 있어 아무런 제한점이 없음을 의미한다. 예를 들어, 바다를 항해하는 배의 이동경로를 예로 들수 있다. 그와는 반대로 제한된 이동경로는 이동점객체의 움직임이 공간상 많은 제한을 받음을 의미하며, 철도 선로나 도로를 따라 운행하는 열차 혹은 자동차의 이동경로를 예로 들 수 있다. 이 논문에서는 제한된 이동경로를 따라 움직이는 이동점객체의 이력을 표현해주는 데이터모델을 기반으로 하고 있으며, 모든 이동점객체에 대해 샘플링된 위치값들은 서로 독립적이며 이들은 정규적인 시간주기에 따라 샘플링된다고 가정하고 있다. 이동객체의 내부에 장착되어 있는 GPS와 같은 센서시스템이 (Moid, t, x, y)순서쌍으로 이동객체의 정보를 정규적인 시간주기에 따라 순차적으로 캡쳐하면, 이들 정보는 데이터베이스내에 저장된다. 이동객체의 시간과 위치 이외에도 이동객체의 움직임을 표현하는 속성으로는 속력과 방향 등 많은 요소들을 고려해 볼 수 있지만, 너무나 많은 설명변수를 회귀모형에 포함할 경우, 이동객체의 위치정보를 획득하므로써 변수들의 변화를 탐지, 관리하는데 많은 비용이 요구되므로[Chap94] 이동객체의 위치와 시간에 대해서만 고려한다. 이 논문에서는 추정된 이동객체의 위치정보들을 연속적으로 시간에 따라 행위함수를 적용해 미리 데이터베이스에 저장하는 것이 아닌, 이동객체의 불확실한 위치정보에 대한 질의 발생시마다 기존에 샘플링된 이동객체의 위치정보를 기반으로 이에 대한 위치값 혹은 시간을 추정해주는 접근방법에 중점을 두고 있다. 이동객체의 위치값에 대한 시간에 따른 움직임과 추정하고자하는 위치값을 표현하면 다음과 같다.

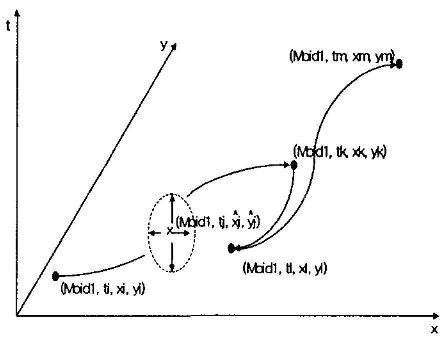

그림 1 시간에 대한 이동객체의 x, y 위치값

그림1에서의 (Moid1, ti, xi, yi), (Moid1, tk, xk, yk), (Moid1, tl, xl, yl) 위치값은 id가 1인 이동객체의 시간 인스턴트 i, k, l 때에 데이터베이스에 샘플링된 위치값이며, 이들은 위치값 자체에 오차를 포함하고 있으므로 그림 1에서 x로 표시된 추정하려는 위치값 (Moid1, tj, $\widehat{xj}$, $\widehat{yj}$) 또한 오차를 포함하고 있으므로 이 논문에서는 통계적인 접근방법을 사용한다.

4.2 선형 보간법

보간법은 주어진 데이터 사이 값을 추정하기 위한 기법이다. 내삽법이라고도 하며, 이는 주어진 구간내의 일부 또는 모든 점을 통과해야 하고 주로 두 점 사이의 값을 구할 때 사용한다[inte01]. 예를 들어, 연속적으로 이동하는 이동객체에 대한 위치값은 질의가 발생한 시간대에 해당하는 위치값을 반환하기 위해 필요한 데이터를 공식형태로 저장 시켜 놓고 필요할 때마다 사용해야 한다. 그러나 연속적인 모든 위치값이 시공간 데이터베이스내에 표현될 수도 없으므로, 샘플링 된 위치값을 선택한 다음 직선으로 연결시켜 사이값을 대신해야한다. 이동객체의 주어진 시간 구간을 [a, b]라고 하고 샘플된 이동객체의 위치 값이 n개의 점으로 이루어졌다고 하면,

$$a = x_1 < x_2 < x_3 \ldots . < x_n = b \quad \text{식(1)}$$

각 샘플링된 위치값들을 점 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \ldots,$ (x_n, y_n)라 하면, t에서 선형근사를 한 값은

$$L_i(t) = a_i + b_i(y - x_i) \quad \text{식(2)}$$

이며, 계수 a_i와 b_i는 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$a_i = y_i \quad \text{식(3)}$$

$$b_i = \frac{(y_{i+1} - y_i)}{(x_{i+1} - x_i)} \quad \text{식(4)}$$

4.3 다항회귀함수

회귀모형은 독립변수 X가 변화함에 따라 종속변수 Y가 어떠한 함수형태를 가지고 변화하는지를 추정 혹은 예측하는 접근방법이다. 통계적 함수관계 Y=f(X)+ε는 독립변수의 값에 대하여 종속변수의 값이 유일하게 결정되지 않는 관계를 의미한다. 여기서 ε는 확률 오차항이다. 오차항 ε은 이동객체의 이동경로를 중심으로 무작위 하게 흩어져 이는 변동을 나타내며 확률적 오차는 종속변수에 중요한 영향을 미치지만 회귀모형에 생략된 다른 독립변수들의 영향을 포함한다고 볼 수 있다. 예를 들면 시공간 이동객체의 매 샘플링 시간과 이동위치의 관계를 분석할 때 샘플링 시간의 기준이 일정하더라도 이동위치의 차이는 있을 수 있는데, 그 이유는 이동객체의 이동위치는 샘플링 시간 이외에 운전 상태에 영향을 줄 수 있는 기후, 도로 상태, 운전자의 건강 상태, 자동차의 상태 등 다른 변수들의 영향을 받을 수 있기 때문이다. 여기서 다른 변수들의 영향은 오차항에 포함되어 있다고 볼 수 있다. 시공간데이터베이스의 이동객체에 대한 회귀모형 도출 시 선형회귀모형을 이용할 경우, 독립변수들과 종속변수의 관계가 선형적이지 않으면 추정된 회귀선과 실제 샘플링된 이동객체의 경로간의 오차가 발생할 수 있으므로 이 논문에서는 종속변수의 변화가 독립변수에 대해 곡선 관계일 때 사용하는 방법인 다항회귀모형을 이용한다. 시간 독립변수에 따라 영향을 받는 설명변수는 x, y 좌표값이므로, 이들 각각에 대한 다항회귀모형은 다음 식 (5), (6)과 같다.

$$f_1(t) = \beta_{10} + \beta_{11} t + \beta_{12} t^2 + \varepsilon_1 \quad \text{식(5)}$$

$$f_2(t) = \beta_{20} + \beta_{21} t + \beta_{22} t^2 + \varepsilon_2 \quad \text{식(6)}$$

β_{i0}, β_{i1}, β_{i2}는 알지 못하는 값으로서 이를 회귀계수 또는 모수라 한다. 회귀모형에서는 샘플링한 이동객체의 위치값에 대한 오차항 ε의 값이 최소가 되는 회귀계수를 추정하는데 목적이 있다. 따라서 OLS(Ordinary Least Squares)추정을 이용해서, $f_1(t)$과 $f_2(t)$의 회귀계수들을 추정한다. 이를 추정하기 위하여 식(7)과 식(8)을 이용한다.

$$\widehat{\beta_1} = (T' T)^{-1} T' Y \quad \text{식(7)}$$

$$\widehat{\beta_2} = (T' T)^{-1} T' X \quad \text{식(8)}$$

oid가 1인 이동객체의 위치값 $\{ (t_1, x_1), (t_2, x_2), \ldots, (t_k, x_k)$ $\{ (t_1, y_1), (t_2, y_2), \ldots, (t_k, y_k)$데이터베이스에 샘플링되어 있을 경우, 이때 샘플링되지 않은 t_c 시간때의 이동객체의 위치값을 추정하고자 할 경우 알고리즘은 다음과 같다.

```
algorithm PositionEstimateFunction (Moid, tc)
input: an object's identifier and time instant tc for estimating
output: the x and y coordinate value at instant tc
begin
   search the tuples that have the input oid and
        a time interval containing the time point tc from a relation
        that includes object's position information
   if (the tuple exist) then
        search before two and next two tuples of the result tuple,
        extract attribute values from five tuples and
        assign them to t[], X[], Y[]
        x_result ‹  PolyReggressFunction( t[], dataX[])
        y_result ‹  PolyReggressFunction( t[], dataY[])
   return x_result and y_result
end PositionEstimateFunction

algorithm PolyReggressFunction( t[], dataX[], dataY[])
input:  a array of time points and a array of x or y value correspond to t
output: estimated regression coefficients about x and y coordinate values
begin
  for(int i=0; j<(order-1) * (order+1); i++)
       dataX[i] = Xmatrix[i];
  for(int i=0; j<order+1; i++)
       dataY[i] = Ymatrix[i];
 GaussElimination(dataX, dataY, Coeff, order+1, order+1);

 GaussElimination(double dataX[], double dataY[], double coeff[], int num1, int num2){
     for(int i = 0; i < num1; i++) {
        double d = dataX[FindPosInArray(num2, i, i)];
        for(int j = i + 1; j < num1; j+-) {
        double d1 = dataX[FindPosInArray(num2, j, i)] / d;
        for(int k = i; k < num2; k+-) {
        dataX[FindPosInArray(num2, j, k)] = dataX[FindPosInArray(num2, j, k)] - d1 *
 dataX[FindPosInArray(num2, i, k)];                                                    }
                dataY[j] = dataY[j] - d1 * dataY[i];
            }
        }

        for(int i = num1 - 1; i >= 0; i--) {
            double d2 = 0.0D;
            for(int j = num2 - 1; j > i; j--) {
                d2 += coeff[j] * dataX[FindPosInArray(num2, i, j)];
                                                 }
            coeff[i] = (dataY[i] - d2) / dataX[FindPosInArray(num2, i, i)];
        }
    }
end PolyReggressFunction
```

5. 실험

이동객체의 샘플링되지 않은 불확실한 위치값을 추정하기 위한 방법 중 가장 보편적으로 사용되고 있는 선형 보간법을 사용할 경우 샘플링 구간을 좁게하여 오차를 줄일 수 있고 계산 시간을 단축할 수 있지만, 연속적인 이동객체의 경로는 직선이라기 보다는 곡선으로 나타내어지므로 샘플링되지 않은 이동객체의 위치값에 대해 불확실한 위치정보를 사용자에게 반환하게 된다[Wolf98]. 이 논문에서는 곡선적합 프로그램인 CurveExpert[Curv01]를 이용하여 이동객체의 위치값을 선형보간법과 다항회귀곡선에 적합하여 추정된 위치값들을 비교한다. 이때, 데이터베이스에 샘플링된 이동객체의 위치값은 GSTD데이터셋[Pfos00b]을 통해 얻은 데이터이다.

표 1. 샘플링된 위치값

x좌표	y좌표
0.02225	0.01216
0.02568	0.03056
0.02756	0.29800
0.03565	0.54223
0.04193	0.63950
0.04199	0.79344
0.04719	0.79421
0.05130	0.79552
0.05726	1.0000

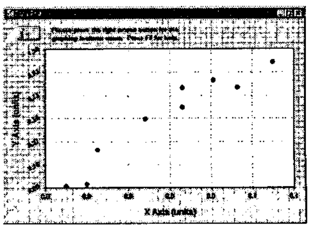

그림 2 샘플링된 위치데이터 그래프

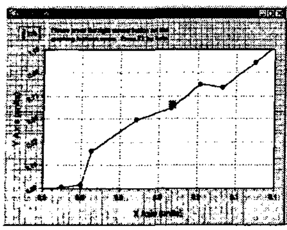

그림 3 선형보간을 적용한 예

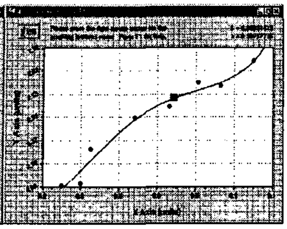

그림 4 다항회귀를 적용한 예

그림2는 원래의 샘플링된 이동객체의 위치값과 그에 대한 이동경로이며, 그림 3과 4는 6번째 샘플링된 위치값(0.04199, 0.79344)을 제거한 후 이에 대해 선형보간법과 다항회귀기법을 이용해 이동경로 및 6번째 위치값을 추정한 예이다. ■ 로 표시된 부분은 (0.04199, 0.79344)좌표와 근접한 좌표를 추정한 예이다. 두 그림에서 알 수 있듯이, 다항회귀기법을 이용한 그래프에서 (0.04199, 0.79344)에 훨씬 근접한 좌표가 반환된다. 그러나 이러한 결과는 이동객체가 일직선상으로 움직이는 변화에 대한 것이기 때문에 좀 더 자유로운 이동경로를 갖는 이동객체의 좌표값에 대한 실험결과는 아래와 같다.

표 3 샘플링된 위치값

x좌표	y좌표
0.02225	0.01216
0.02568	0.02056
0.02756	0.01998
0.05130	0.37552
0.05726	0.33056
0.06554	0.21198
0.09990	0.25501
0.10789	0.21542
0.11329	0.13331
0.12278	0.19933
0.13375	0.32321
0.15335	0.45611
0.16314	0.55521
0.16327	0.68923
0.17587	0.65231
0.18551	0.54321
0.29738	0.58781
0.19878	0.42111
0.24235	0.68112
0.24445	0.99911

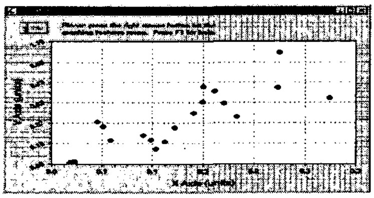

그림 5 샘플링된 위치데이터 그래프

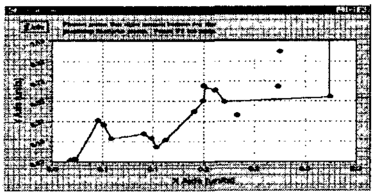

그림 6 linear interpolation를 적용한 예

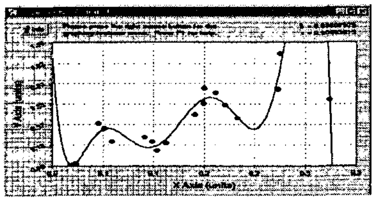

그림 7 polynomial regression를 적용한 예

11번째 샘플링된 위치값 (0.13375, 0.32321)을 제거한 후 이에 대해 11번째 위치값을 추정한 경우, 둘다 원래의 11번째 샘플링된 위치값과 거의 비슷한 결과를 보인다. 그러나, 선형보간의 경우, 시간에 대해 연속적으로 x, y좌표값이 커졌다가 작아지는 이동객체에 대해서는 그림 6에서 알 수 있듯이 보간을 해주지 못한다.

6. 다항회귀함수를 이용한 이동경로 구현

4절에서 제시한 다항회귀모형을 통해 추정된 회귀계수를 이용하여 이동객체의 이동경로를 구현했다. 샘플링된 이동객체의 위치값과 트랜잭션 시간을 저장하기 위한 데이터베이스로는 Oracle 8i를 사용하였으며, 다항회귀함수는 JDK 1.3을 이용해 구현하였다.

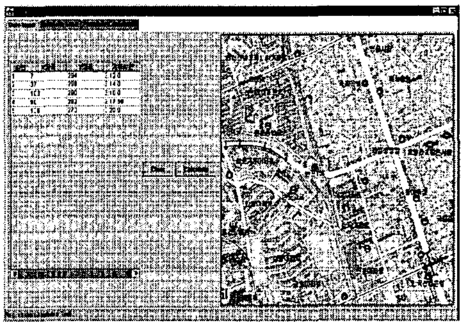

그림 8 다항회귀함수를 이용한 이동경로 추정

7. 결론 및 향후 연구

이동객체의 샘플링되지 않은 불확실한 위치값을 추정하기 위한 기법 중 가장 보편적으로 사용하고 있는 방법은 선형 보간법이다. 그러나 이는 가장 단순한 접근방법이지만, 가장 큰 에러가 발생하게 된다. 따라서, 샘플링된 이동객체의 위치값 자체의 오차 범위를 고려하는 통계적인 기법인 다항회귀함수를 통해 샘플링되지 않은 위치에 대한 좀 더 정확한 위치 추정과 앞뒤 방향으로 이동하는 이동객체의 샘플링되지 않은 위치값 추정 또한 할 수 있음을 실험을 통해 알 수 있었으며, 이를 근거로 다항회귀함수를 이용해 이동객체의 이동경로를 구현하였다. 향후 과제로는 이 논문에서 제시한 알고리즘과 같이 추정하길 원하는 시간 인스턴트를 포함하는 시간구간에서의 샘플링된 위치값에 대해 다항회귀함수를 적용하여 샘플링되지 않은 과거 및 미래 위치값을 추정해서 리턴해주는 질의처리기를 구현하는 연구가 진행되어야 한다.

참고 문헌

[Bart97] R.Bartels, J.Beatty, and B.Barsky, "An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics & Geometric Modeling", Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1987.

[Chap94] Steven C. Chapra, Raymond P. Canale, "Numerical Methods for Engineers", McGraw-Hill, 1994.

[Curv01] CurveExpert1.3 curve fitting and regression software, 2001, http://www.ebicom.net/~dhyams/cvxpt.htm.

[Erwi98] Martin Erwig, Ralf Hartmut Güting, Markus Schneider, Michalis Vazirgiannis: Abstract and Discrete Modeling of Spatio-Temporal Data Types. ACM-GIS, 1998, pp.131-136.

[Inte01] Interpolation, 2001, http://www.physik.tu-berlin.de/~eungshin/matlab/algorithm/interpolation.htm.

[More99] Jose Moreira, Cristina Ribeiro and Jean-Marc Saglio, "Representation and Manipulation of Moving Points: An Extended Data Model for Location Estimation", Cartography and Geographic Information Systems (CaGIS), ACSM, Volume 26, No. 2, April 1999.

[Pfos99] Dieter Pfoser, Christian S. Jensen, "Capturing the Uncertainty of Moving-Object Representations", SSD, 1999.

[Pfos00a] Dieter Pfoser, Nectaria Tryfona, "Fuzziness and Uncertainty in Spatiotemporal Applications", CHOROCHRONOS Technical Report CH-00-04, Feb. 2000.

[Pfos00b] Dieter Pfoser, Yannis Theodoridis, Generating Semantics-Based Trajectories of Moving Objects", Technical Report, CHOROCHRONOS:TM Research Network Project, Jan., 2000.

[Sist97] A. P. Sistla, O.Wolfson, S.Chamberlain, S. Dao, "Modeling and querying moving objects", Proceedings of the 13 th International Conference on Data Engineering, pages 422-432, Birmingham, UK, 1997.

[Wolf98] O.Wolfson, Bo Xu, S.Chamberlain, and L.Jiang, "Moving Objects Databases: Issues and Solutions", In Proc. Of the 10th Intl. Conference on Scientific and Statistical Database Management, 1998.

[Wolf99c] O. Wolfson, A. P. Sistla, S. Chamberlain, and Y. Yesha, "Updating and querying databases that track mobile units", Distributed and Parallel Databases, Vol. 7, No.3, 1999.