

위치기반서비스를 위한 옥내 이동객체 데이터베이스 갱신전략: 칼만 필터 방법*

임재걸** · 주재훈*** · 박찬식**** · 권기용***** · 김민혜*****

〈 목 차 〉

I. 서론	3.2 알고리즘
II. 관련 연구	IV. 실험
2.1 이동객체 데이터베이스	V. 결론
2.2 칼만 필터	참고문헌
III. 갱신전략과 알고리즘	<Abstract>
3.1 갱신전략	

I. 서론

본 논문에서는 옥내 위치기반서비스를 위한 이동객체 데이터베이스 시스템의 갱신 방안을 제안한다. 옥내 이동객체란 옥내를 보행하는 사람이 휴대한 초소형 노트북컴퓨터나 PDA 혹은 스마트폰 등의 이동단말기를 의미한다. 옥내 이동객체 데이터베이스의 목적은 이동단말기의 위치를 시간 변화에 따라 추적함으로써 ‘누가 언제 어디에 있었는지’와 같은 시간과 공간에 대한 정보를 제공하는 것이다. 유비쿼터스 사회

에 대한 인식이 널리 확산되어 위치기반서비스가 요구되는 영역도 다양하다(이동만, 외, 2006; Casas et al., 2007; Hand et al., 2006; Yim et al., 2008). 시간과 공간에 대한 정보는 위치기반서비스에 반드시 필요한 요소임으로 자동차 관리, 택배, 운송, 관광, 군사 등의 분야에서 응용소프트웨어 개발을 위한 시공간 정보기술이 널리 연구되었다. 그러나 이러한 실용적인 시스템들은 대부분이 옥외용이고, 위치 판단은 주로 GPS에 의존하고 있다. 그런데 GPS 신호는 옥내에서 잡히지가 않기 때문에 옥외용으로 개발

* 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음. (KRF 2008 314 D00362)

** 동국대학교 과학기술대학 컴퓨터멀티미디어학부(제1저자) yim@dongguk.ac.kr

*** 동국대학교 경영·관광대학 정보경영학과(교신저자), givej@dongguk.ac.kr

**** 충북대학교 전자정보대학 교수, chansp@chungbuk.ac.kr

***** 동국대학교 과학기술대학 컴퓨터멀티미디어학부

된 기존의 기술들은 옥내에서 무용지물이 된다.

위치기반서비스를 제공하기 위해서는 옥내에서의 시간과 공간에 대한 정보도 매우 중요하다. 예를 들어, 코엑스와 같은 대형 전시장에는 수많은 단체 관람객들이 내방한다. 단체 관람은 많은 사람들이 정해진 스케줄에 따라 움직여야 하기 때문에 인솔자는 항상 회원들의 위치에 신경을 쓴다. 특히 초등학생의 경우에는 더욱 그러하다. 나아가서, 학생 단체 관람의 경우에는, 선생님이 교육적 효과를 평가하기 위하여 얼마나 많은 학생이 어느 부스(booth)를 얼마나 오래 동안 방문하였는지 통계적 자료를 원하기도 한다. 이러한 통계적 자료는 전시회 주관기관이 전시물에 대한 관람객의 관심도를 알아보는 데 필요하기도 하다.

옥내 위치기반서비스의 또 다른 예로 박물관 관람 가이드 시스템을 들 수 있다. 박물관 관람 가이드 시스템은 관람객이 소지하는 소형 이동 단말기로 사용자의 위치와 전시물의 위치를 파악하여 사용자가 현재 보고 있는 전시물과 관련된 콘텐츠를 제공하거나, 관람객이 원하는 장소를 안내하는 이동 경로를 제공하는 등 유용한 서비스를 제공하는 시스템이다. 이러한 시스템은 실감나는 현장 학습과 같은 효과를 나타낸다.

옥내 위치기반서비스 시스템 개발에 필요한 요소 기술에는 옥내 이동객체의 위치를 파악하는 측위기술과 이동객체의 이력을 관리하고 질의에 응답하여 주는 이동객체 데이터베이스 기술이 있다. 옥내 측위기술에 대한 연구는 이미 상당한 수준에 이르고 있고(임재걸 외, 2008; Bahl and Padmanabhan, 2000; Harter and Hopper, 1997; Ito and Kawaguchi, 2005;

Lassabe et al., 2005; Lin and Lin, 2005; Priyanthat et al., 2000; Want et al., 1992; Yim, 2008), 이동객체 데이터베이스 관련 연구도 활발하나(권혁신 외, 2004; Wolfson, 2002), 옥내 이동객체 데이터베이스 관련 연구는 미미하다.

옥내 이동객체 데이터베이스 시스템의 효율성을 결정하는 요인들 중 가장 기본적인 것은 이동객체의 위치정보를 갱신하는 방안이다. 위치정보 갱신은 이동객체가 자신의 위치를 서버에게 무선통신으로 알려줌으로써 이루어지는데, 이동객체의 수가 적을 경우에는 주기적인 갱신 정책도 가능하지만 이동객체의 수가 매우 클 경우에는 통신량을 줄이면서 데이터의 정확도도 유지하는 방법을 사용하지 않으면 과도한 통신비용과 데이터 저장 비용을 지출하게 된다. 따라서 본 논문은 옥내 이동객체 데이터베이스에서의 갱신방안을 제안한다.

제안하는 갱신방안의 요지는 시점 t_0, t_1, \dots, t_i 각각에서 실측한 위치정보에 칼만 필터를 적용하여 t_{i+1} 이후의 단말기의 위치를 추정하고, 추정된 위치와 실측 위치간의 차이가 일정 수준 이하이면 통신을 생략하는 전략을 사용하는 것이다.

제안하는 방법의 성능을 실험적으로 비교하기 위하여 일련의 실제 측위 데이터에 제안하는 방법을 적용하여 IMODB(Indoor Moving Object Database)를 갱신하는 실험을 수행한다. 실험 결과를 분석하여 제안하는 방법이 갱신을 얼마나 생략하는지, 그리고 오차의 크기에는 어떠한 영향을 미치는지 분석한다.

II. 관련연구

이동객체 데이터베이스 기술은 이미 심도 있게 연구되었다. 그러나 기존의 연구는 GPS 기반의 옥외용이고, 옥내 이동객체 데이터베이스 관련 연구는 아직 발표된 바가 전무하다. 따라서 본 절에서는 옥외용으로 이미 개발된 이동객체 데이터베이스 관련 기술을 소개한다. 또한 본 논문에서는 칼만 필터를 이용하여 이동객체의 위치를 추정하는 방법을 이용하려고 함으로 칼만 필터도 소개한다.

2.1 이동객체 데이터베이스

컴퓨터가 작아지고 무선통신망과 센서 기술이 발전함에 따라 탁상에 고정된 컴퓨터에서 계산되던 응용소프트웨어가 이동단말기로 옮겨가고 있다. 이로 인하여 등장하게 된 새로운 유형의 응용소프트웨어에는 위치기반서비스, 관광서비스, 모바일 전자상거래와 디지털 전투 등이 있고, 기존의 교통·항공제어·기상예보·119 서비스·자원관리 서비스 등도 새로운 모습으로 거듭나고 있다. 이동객체 데이터베이스는 위에 열거된 서비스들을 가능하게 하여주는 열쇠가 되는 기술이다.

Wolfson(2002)은 이동객체 데이터베이스 분야에서 연구해야할 과제가 위치정보의 모델을 구축하고, 불확실성을 관리하는 기술을 개발하고, 시공간 데이터를 접근하기 위한 언어를 개발하고, 검색을 위한 색인을 작성하는 방법과 데이터가 대용량으로 증가하는 것을 다루는 기술, 데이터 마이닝 기법, 서버의 과부하를 경감시키는 방법, 개인보호와 보안 등이라고 규명하

였다.

위치정보를 나타내는 가장 간단한 방법으로 위치와 시각으로 구성된 순서쌍인 (loc, time) 형식을 들 수 있다. 순서쌍 (loc, time)은 time 시각에 이동물체의 위치가 loc 이었다는 사실을 나타내며, 이동물체의 위치를 주기적으로 측정하여 작성한다. loc는 x-y 좌표나 위도-경도 좌표일 수 있으며, 측위 방법에 따라 셀 번호가 될 수도 있다. 본 연구에서는 옥내 이동객체 데이터베이스를 다룸으로 화면상의 x-y 좌표가 될 것이다.

이 방법은 다음과 같은 단점을 갖는다. 첫째, 보간법을 사용할 수 없다. 예를 들어, 오후 3시에 주어진 지점에서 가장 가까이 있었던 이동물체가 무엇이라는 질문에 대한 답을 구하면 오후 3시 정각에 자기의 위치를 갱신한 이동물체 중에서만 구하게 된다. 따라서 만약 오후 3시 정각에 자신의 위치를 갱신한 이동물체가 없었다면 답을 구할 수도 없고, 오후 3시에 바로 그 자리에 있었던 이동물체가 있었다더라도 그 이동물체가 자신의 위치를 갱신하지 않았다면 다른 이동물체를 답으로 구하게 된다. 나아가서 가까운 장래의 상황에 대한 질문에 대한 답을 구하기는 아예 불가능하다.

두 번째 단점은 첫 번째 단점과 밀접한 관계가 있다. 즉, 보간법을 사용할 수 없으므로 이동물체가 자신의 위치를 갱신하는 횟수를 증가시켜야 이동물체의 위치를 정확히 파악할 수 있게 된다. 갱신 횟수가 증가하면 필연적으로 데이터의 양이 급격히 증가하게 되고 처리를 위한 CPU 시간을 비롯한 많은 자원을 사용하게 된다.

끝으로 이 방법으로 데이터를 저장하면 이러

한 데이터를 이용하는 응용소프트웨어 개발이 매우 불편하게 된다. 우선, 데이터베이스에 저장된 데이터는 갱신하기 전에는 변하지 않는다. 즉, 현실 세계의 이동물체는 부단히 움직이는데 반하여 데이터베이스에 기록된 이 이동물체의 위치는 갱신하지 않으면 변하지 않으므로 데이터베이스의 데이터와 실제 세계의 값이 서로 불일치하게 된다. 그리고 응용 프로그램에서 원하는 데이터를 찾아 주는 질의문을 작성하기가 매우 어렵다. 예를 들어, 원하는 데이터가 4시부터 5시 사이에 지정된 영역에 계속 머물러 있었던 이동물체일 때, 이러한 이동물체를 찾는 SQL 질의문을 작성하기가 매우 어렵다.

그럼에도 불구하고, (loc, time) 형식은 이동물체의 경로가 이미 알려져 있는 경우에 유용하다. 즉, 대중 교통 수단인 버스는 정해진 경로로 움직이기 때문에 버스의 시간-공간 정보는 (loc, time) 형식으로 표현해도 좋다. 또한, 이동물체의 지나온 궤적으로부터 미래의 위치를 예상하기가 불가능한 경우에도 이러한 형식을 사용할 수밖에 없다.

Wolfson(2002)은 위치정보를 나타내는 다른 방법으로 궤적 모델을 제안한 바 있다. 이 방법의 기본 전략은 이동물체의 목적지에 대한 이미 알려진 정보를 이용하는 것이다. 예를 들면, 아침 8시부터 9시 사이에 이 사람은 집에서 직장으로 출근한다든지 혹은 오늘 스케줄에 의하면 이 사람은 오후 3시에 모처에서 이사회에 참석해야 한다든지 등의 부가적인 정보를 참조하는 것이다.

부가적인 정보에 의하여 이동물체의 목적지를 알고 있다면, 전자지도를 이용하여 이동물체의 궤적을 작성할 수가 있다. 전자지도는 관계

형 데이터베이스의 관계(relation)로서 교차로에서 다른 교차로까지의 도로 세그먼트를 나타내는 터플(tuple)로 구성된다. 도로 세그먼트를 나타내는 전자지도의 속성에는 해당 도로 세그먼트를 지칭하는 유일한 번호와 도면상의 도로의 기하학적인 모양을 나타내는 일련의 직선들이 있다. 일련의 직선들은 물론 직선들의 시작점과 끝점으로 표현된다.

나아가서 좌표를 행정상의 주소로 변환하는 서비스를 위하여 도로 세그먼트의 거리 이름, 좌측 거리의 이름, 우측 거리의 이름, 도로 유형이 남북 도로인지 동서 도로인지, 속도제한, 일방통행인지, 우편번호 등의 속성과 통과하는데 걸리는 시간 계산을 돕기 위하여 도로 세그먼트의 길이와 평균 통과 시간 등의 속성도 갖는다. 출발지와 목적지가 주어지면 이동물체의 경로는 출발지에서 목적지로 가는 최단경로를 이루는 일련의 도로 세그먼트들로 구성되며, 이를 바탕으로 주어진 시각에 이동물체가 어디에 위치하는지 예측할 수 있다.

궤적 모델을 이용하여 이동물체의 시공간 정보를 저장하면 다음과 같은 질의에 대한 답을 수월하게 구할 수 있다. 우선 하나의 궤적과 관련된 질의로 예를 들면 ‘이동물체 x가 주소 yy에 가장 가까워지는 시각은 언제인가?’와 같은 질의가 있다. 그리고 두 궤적 간의 관계를 묻는 질의로 예를 들면, ‘몇 시부터 몇 시 사이에 거리가 얼마 이내이던 이동물체에는 어떤 것들이 있는가?’ 등이 있다.

이동물체의 위치 정보는 이동물체 자체가 부단히 움직이고 있을 뿐 아니라 측정 방법에도 오차가 내포되어 있기 때문에 어쩔 수 없이 어느 정도 부정확하다. 나아가서 질의 자체가 막

연한 경우가 많아서, 예를 들면 ‘주어진 지점과 가까이 있는 이동물체들에는 어떤 것들이 있는가?’ (가깝다는 말의 뜻이 막연함), 이동물체 데이터베이스는 불확실성을 다룰 수 있어야 한다. 불확실성을 다룰 때에는 불확실한 정도를 지칭하는 기준이 있어야 한다. 불확실한 정도를 너무 많이 주면 처리 대상이 되는 정보가 너무 많아지는 경향이 있고 불확실한 정도를 너무 적게 주면 타당한 답도 제외시키게 되는 결과를 낳게 된다. 그래서 적당한 불확실 정도를 계산하는 방법과 이 방법을 데이터 warehousing에 사용한 예가 Olston et al.(2000)에 소개된 바 있다. 또한 ‘확률적으로 제한적인 직사각형’이라는 개념을 도입하여 조건에 맞는 데이터를 선택하고 그렇지 않은 데이터를 제거하는 방법이 Tao et al.(2007)에 소개되었다.

2.2 칼만 필터

칼만필터(Kalman Filter)는 상태를 나타내는 값을 구하는 과정으로 상태의 예측과 실측치를 이용한 예측치의 갱신을 반복한다(Welch and Bishop, 2007). 예를 들어 옥내 측위의 경우에는 단말기의 위치를 임의의 값으로 예측하고 실측값을 반영하여 갱신한 다음, 이를 토대로 또 다시 현재 위치를 예측하고 실측값을 반영하여 갱신하는 과정을 반복함으로써 단말기의 위치를 결정한다.

본 논문에서는 AP(Access Point)의 신호를 이용하여 위치를 구하는 방법을 설명한다. 옥내 위치기반 서비스에서는 서비스 공간이 평면이므로 2차원 공간이라고 가정하여도 무방하다. 평면에서 이동단말기의 위치와 속도 벡터를

$X_k = [x_k \ y_k \ v_{xk} \ v_{yk}]^T$ 로 두고, 이동단말기가 등속운동을 한다고 가정하면 다음의 PV(Position Velocity)모델을 적용할 수 있다. 여기서 Δt 는 샘플링 시간을, $W_k \sim N(0, Q_k)$ 는 모델링 오차를 나타내며, PV 모델은 급격한 가속 운동이 없는 경우 좋은 결과를 주는 모델로 알려져 있다.

$$X_{k+1} = \Phi X_k + W_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} X_k + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ w_{vx} \\ w_{vy} \end{bmatrix}$$

측정치를 구하는 방법에 따라 측정모델이 달라지며 일반적으로 AP(Access Point)의 신호 세기를 이용하는 경우 두 가지 방법을 사용할 수 있다. 첫째는 AP 신호세기를 거리 값으로 변환하여 사용하는 방법이며, 두 번째 방법은 K-NN 등의 기법을 이용하여 추정된 위치와 속도를 사용하는 방법이다. 거리 측정치를 사용하는 경우 모르는 위치의 이동단말기 $A = [x_k \ y_k]^T$ 에서 알고 있는 위치의 $AP_i = AP_i = [AP_x^i, AP_y^i]$, $i = 1, \dots, m$ 에 대하여 측정된 거리는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$r_k^i = \sqrt{(AP_x^i - x_k)^2 + (AP_y^i - y_k)^2} + v^i$$

여기서 v^i 는 측정오차를 나타내며 평균 0, 분산 σ_i^2 인 백색 가우시안 잡음(AWGN)으로 가정한다. $m(\geq 3)$ 개의 AP에서 거리 측정치를 구했다면 WLSQ(Weighted Least Square)기법으로 이동단말기의 위치를 구할 수 있으며, 기준점(nominal point) $r_0 = (x_0 \ y_0)^T$ 을 기준으로 선형화하면 다음과 같다.

$$Z_k = \begin{bmatrix} r^1 - r_0^1 \\ \dots \\ r^m - r_0^m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_x^1 & h_y^1 \\ \dots & \dots \\ h_x^m & h_y^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_x^1 & h_y^1 \\ \dots & \dots \\ h_x^m & h_y^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v^1 \\ \dots \\ v^m \end{bmatrix}$$

여기서 $r_0^i = \sqrt{(AP_x^i - x_0)^2 + (AP_y^i - y_0)^2}$

는 알고 있는 AP의 위치와 기준점으로 계산한

거리이며, $(h_x^i = \frac{AP_x^i - x_0}{r_0^i}, h_y^i = \frac{AP_y^i - y_0}{r_0^i})$

는 기준점에서 AP로의 시선(LOS: Line Of Sight) 벡터를 나타낸다. 이 식을 상태변수 x_k 를 이용하여 나타내면 최종적인 측정식을 얻는다. 여기서 $V_k \sim N(0, R_k)$ 는 측정 잡음의 공분산 행렬을 나타낸다.

$$Z_k = \begin{bmatrix} h_x^1 & h_y^1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_x^m & h_y^m & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ v_{xk} \\ v_{yk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v^1 \\ \dots \\ v^m \end{bmatrix} = HX_k + V_k$$

두 번째 방법으로 K-NN 등을 이용하여 위치와 속도를 구하는 경우 측정식은 다음과 같이 나타난다.

$$Z_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ v_{xk} \\ v_{yk} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v^1 \\ v^2 \end{bmatrix} = HX_k + V_k$$

<그림 1>은 시스템 모델과 측정 모델을 이용하여 칼만 필터를 이용하여 위치와 속도를 추정하는 과정을 정리하였다. 앞의 두 가지 측정 모델에 대하여 같은 방법으로 칼만 필터를 적용할 수 있으나 본 논문에서는 K-NN에서 구한 위치와 속도를 측정치로 사용하는 두 번째 측정 모델을 이용하여 구성하였다.

<그림 1>에 나타나는 칼만 필터 과정은 오차 공분산 초기값(P_0), 프로세스 잡음강도(Q_k), 측정 잡음 공분산값(R_k) 등의 파라미터에 적절한 초기 값을 부여함으로써 최적의 성능을 낼 수 있다. 따라서 이들 초기 값을 찾는 것이 중요하다.

III. 갱신전략과 알고리즘

3.1 갱신전략

본 논문에서 제안하는 갱신방식은 칼만 필터를 이용한 무정보추산방식(KFDR: Kalman Filter Based Dead-Reckoning)이다. 즉, 시점 t_0, t_1, \dots, t_i 각각에서 실측한 위치정보에 칼만 필터를 적용하여 t_{i+1} 이후의 단말기의 위치를

- 1) Initial guess: \hat{X}_0 and P_0
- 2) Kalman Gain: $K_{k+1} = P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R_{k+1})^{-1}$
- 3) Measurement update: $\hat{X}_k = \hat{X}_k + K_{k+1} (Z_{k+1} - \hat{Z}_{k+1})$
- 4) Update error covariance: $P_k = (I - K_k H_k) P_k$
- 5) State propagation: $\hat{X}_{k+1} = \Phi \hat{X}_k, P_{k+1} = \Phi P_k \Phi^T + Q_k$
- 6) Goto step2

<그림 1> 칼만 필터 처리 과정

추정하고, 추정된 위치와 실측 위치간의 차이가 일정 수준 이하이면 통신을 생략하는 전략을 쓰는 것이다.

<그림 1>의 단계 5에서 $\hat{X}_{k+1} = \Phi \hat{X}_k$ 은 k 번째 단계에서 구한 이동객체의 위치에 속도와 시간의 곱을 더하여 k+1 번째 위치를 예측한다. 본 논문이 제안하는 방법은 Δt 에 k번째 위치측정 후 지금까지 경과한 시간을 대입함으로써 현재의 위치를 추정하는 것이다.

일련의 위치 측정값들에 <그림 1>에 보이는 칼만 필터를 적용하면 v_{xk} 와 v_{yk} 가 각각 일정한 값으로 수렴하게 된다. 따라서 본 논문이 제안하는 방법은 이동객체의 위치를 비교적 정확하게 추정할 수 있다. 속도가 일정한 값에 수렴하였다는 사실은 <그림 1>의 오차공분산 행렬인 P 행렬의 원소를 보고 알 수 있다. <그림 1>은 초기에 X 값을 임의로 결정하기 때문에 P 행렬의 원소들의 값을 매우 큰 값으로 초기화한다. 칼만 필터의 반복 횟수가 증가하여, 이동객체의 상태가 안정화되어 감에 따라 P의 원소들의 값은 점차 감소한다. 본 논문은 P의 원소들의 값이 일정 수준 (0.05) 이하이면 이동객체의 위치를 추정하기 시작할 것을 제안한다.

3.2 알고리즘

국내 이동객체 데이터베이스 시스템의 핵심 구성 요소는 데이터베이스 서버, 웹서버 그리고 통신서버다. 통신서버는 이동객체가 소지한 단말기가 송신한 단말기의 위치정보를 수신하여 데이터베이스 서버에 전달하고, 웹서버는 사용자가 입력한 명령(질의어 포함)을 데이터베이스 서버에 전달하며, 데이터베이스 서버가 작성

한 답을 사용자의 단말기에 출력하여준다. 데이터베이스 서버는 단말기가 전송한 이동객체의 위치 정보와 적용 영역의 전자지도 정보를 저장하며 웹 서버가 전달한 질의어에 대한 답을 구하는 역할을 담당한다.

본 논문에서는 이동객체와 통신서버의 통신 비용을 절감하기 위한 전략을 제안한다. 제안하는 전략은 시점 t_0, t_1, \dots, t_i 각각에서 실측한 위치정보에 칼만 필터를 적용하여 t_{i+1} 이후의 단말기의 위치를 추정하고, 추정된 위치와 실측 위치간의 차이가 일정 수준 이하이면 통신을 생략하는 것이다. 단말기의 위치를 추정하는 시점은 P의 원소들의 값이 0.05 이하인 시점으로 한다. 이와 같은 전략을 수행하는 알고리즘은 <그림 2>와 같다. 제안하는 알고리즘은 i초 동안 매초마다 측정된 일련의 i개의 측정치에 <그림 3>에 보이는 칼만 필터를 적용하여, i번째 교정치를 구한다. 그리고 P 행렬의 원소들의 값이 0.05 이하이면 Φ 의 Δt 를 1로 교체한 Φ 에 i번째 교정치를 곱하여 현재 위치를 추정한다. 알고리즘에서는 추정치를 prediction이라는 변수에 배정하였다. 추정치와 측정치의 차이가 일정 수준(예를 들면 3미터, 알고리즘에 Uncertainty라고 표현함) 이하이면 측정치를 전송하지 않고, 그렇지 않은 경우에만 측정치를 전송하고 i를 증가시킨다. 측정치를 전송하지 않은 경우에는 또 다시 1초가 경과한 후에 Φ 의 Δt 를 2로 교체한 Φ 에 i번째 교정치를 곱하여 현재 위치를 추정한다.

<그림 3>에 보이는 알고리즘은 <그림 1>에 보이는 칼만 필터를 i개의 측정치에 적용하여 궤적을 구한다. <그림 3>의 $X_{current}$ 와 Φ_{matrix} 는 각각 <그림 1>의 \hat{X} 과 Φ 에 해당

```

1) while(thread_start) {
2) <그림 4>에 보이는 칼만 필터 알고리즘을  $i$ 개의 측정치에 적용하여  $\hat{X}_i$ 를 계산함.
3) measurement =  $i + 1$  번째 측정치 ;
4) if elements of  $P_0 < \text{ThForP}$  then {
        // ThForP를 0.05로 함
        prediction =  $\Phi \hat{X}_i$ ;
        if (|prediction - measurement| < Uncertainty) {
            //Uncertainty를 3 미터로 함
            then skip sending
            else send measurement to the server
        }
        else send measurement to the server
    }
}

```

<그림 2> 갱신전략 알고리즘

한다.

데이터베이스 서버는 이동객체의 xx 시점의 위치를 묻는 질의가 들어올 때, xx 시점의 이동 물체의 위치가 데이터베이스에 기록되어 있으면 그 위치를 질의의 답으로 반환한다. 그러나 xx 시점의 위치가 기록되어 있지 않으면 데이터베이스에 기록되어있는 xx 이전의 위치정보들 중 가장 근접한 시각의 일련의 위치 정보들을 추출하여 여기에 칼만 필터를 적용함으로써 xx 시점의 위치를 추정하고 이 추정치를 반환한다. 이동객체도 <그림 3>의 알고리즘을 적용하여 이와 동일한 방법으로 자기 자신의 위치를 추정한 값이 측정치와 기준치 (알고리즘에서 Uncertainty라고 함) 이내일 때 전송을 하지 않았으므로, 데이터베이스 시스템이 반환한 값은 실측치와 기준치(Uncertainty) 범위 안에 있게 된다.

<그림 3>에 보이는 알고리즘은 <그림 1>에

소개한 칼만 필터를 구현한 알고리즘으로 본 구현에서는 \hat{X} 의 초기치로 초기 측정치를 사용하고 오차 공분산을 임의의 큰 값으로 초기화한다. 본 구현에서는 Matrix라는 클래스에 행렬의 생성, 행렬의 곱, 전이행렬 구하기, 역행렬 구하기를 비롯한 필요한 행렬 연산들을 정의하여 사용한다.

<그림 1>의 단계 2, 즉 Kalman Gain은 <그림 3>의 문장 7에서 구하고, <그림 1>의 단계 3은 <그림 3>의 문장 10, <그림 1>의 단계 4는 <그림 3>의 문장 12, 단계 5는 <그림 3>의 문장 2와 11에서 각각 수행된다.

본 실험에서는 이동객체가 평면상에서 움직임을 \hat{X} 의 원소가 x, y 좌표와 x, y 축 상의 속도로 구성되지만 3차원 공간에서 움직일 경우에는 \hat{X} 의 원소가 x, y, z 좌표와 x, y, z 축 상의 속도로 구성된다. 나아가서 육내 이동객체는

algorithm 칼만궤적(Mt_0)

// i 개의 측정치(글로벌 데이터)로 단말기의 상태(위치와 속도)를 추정함.

// Mt_0 : t_0 에 획득한 측정치

1. 초기화: $X_current = Mt_0$ (Mt_0 는 t_0 의 측정치), 그리고 $P_0 = \begin{bmatrix} 300 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 300 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 300 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 300 \end{bmatrix}$

(for $j=1$; $j \leq i$; $j++$) {

2. $P_matrix = \Phi_matrix * P_matrix * \Phi_matrix.Transpose() + Q_matrix$;

3. $Matrix$ temp1 = new $Matrix(2, 2)$;

4. $Matrix$ temp2 = new $Matrix(2, 2)$;

5. temp1 = $H_matrix * P_matrix * H_matrix.Transpose() + R_matrix$;

6. temp2 = temp1.Inverse();

7. $K_matrix = P_matrix * H_matrix.Transpose() * temp2$;

8. $Z_matrix = new Matrix(2, 1)$;

9. $Z_matrix = j$ 번째 측정치;

10. $X_next = X_current + K_matrix * (Z_matrix - H_matrix * X_current)$;

11. $X_current = \Phi_matrix * X_next$;

12. $P_matrix = (I_matrix - K_matrix * H_matrix) * P_matrix$;

}

end 칼만궤적

<그림 3> i 개의 일련의 측정치로 궤적을 생성하는 칼만 필터

보행중인 사람임으로 가속도를 고려하지 않지만 이동객체가 자동차와 같은 경우에는 가속도까지 고려해야 한다. 이와 같이 \hat{X} 의 크기가 커지면 다른 행렬들의 크기도 따라서 커진다.

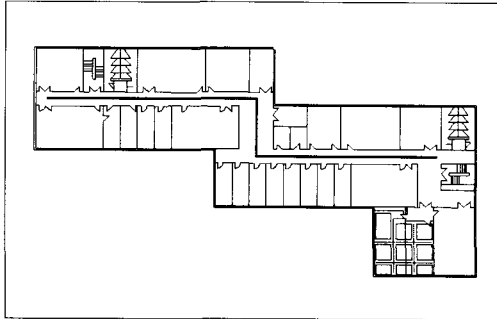
IV. 실험

제안하는 방법의 성능을 정확히 분석하기 위하여 실제 시스템에서 제안하는 알고리즘을 적

용하여 실시간으로 실험치를 구해야하지만, 본 논문에서는 <그림 4>에 보이는 실험 공간에 선으로 보이는 동선을 따라 0.5미터/초 속도로 걸어가면서 매초 1회 K-NN 방법으로(임재걸 외, 2006) 획득한 지점을 측정치로 사용하였다. 즉, 실시간으로 적용하지 않고, 미리 측정한 일련의 측정치에 제안하는 전략을 적용하여 통신량과 오차에 미치는 영향을 분석하였다.

이를 위하여 <그림 4>의 경로를 따라서 약 0.5미터/초 속도로 걸어가면서 매초 K-NN 방

법으로 측위를 실시한 결과 총 142 개의 측정치를 얻게 되었다. 전형적인 측위 결과는 <그림 5>와 같다.



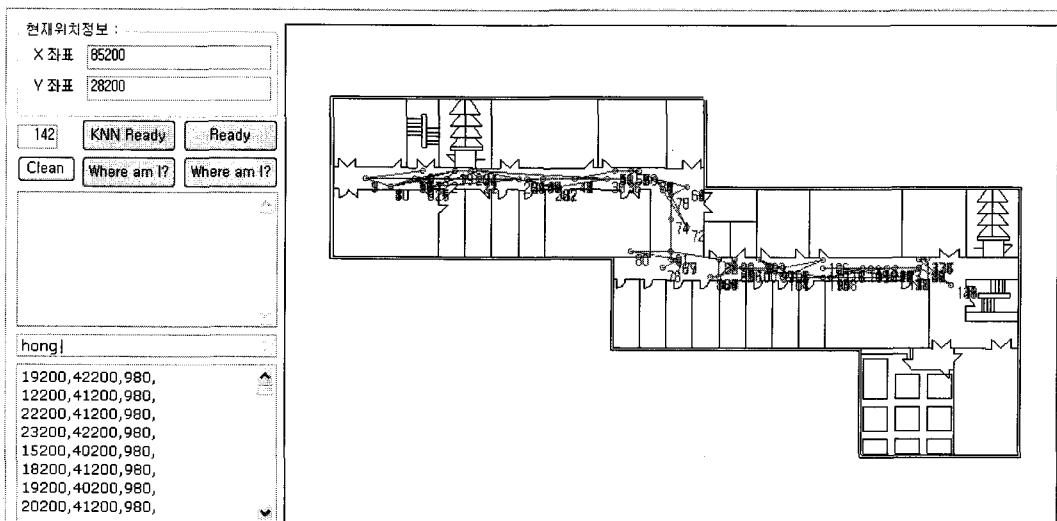
<그림 4> 실험 공간과 실제 이동 경로

이와 같이 <그림 4>의 경로를 걸어가면서 매 초마다 위치를 측정하는 작업을 25회 실시하였다. 각 회의 142번의 측정치에 제안하는 전략을 적용하여 예측치와 실측치의 차이가 3미터 (문턱값을 3미터로 함. 즉 그림 2에서 Uncertainty를 3미터로 함) 이하이면 갱신을 생략하는 실험을 하면 <그림 6>과 같은 결과를 얻는다. <그림 6>의 9번째 지점에서의 p 값은 0.0269 이었

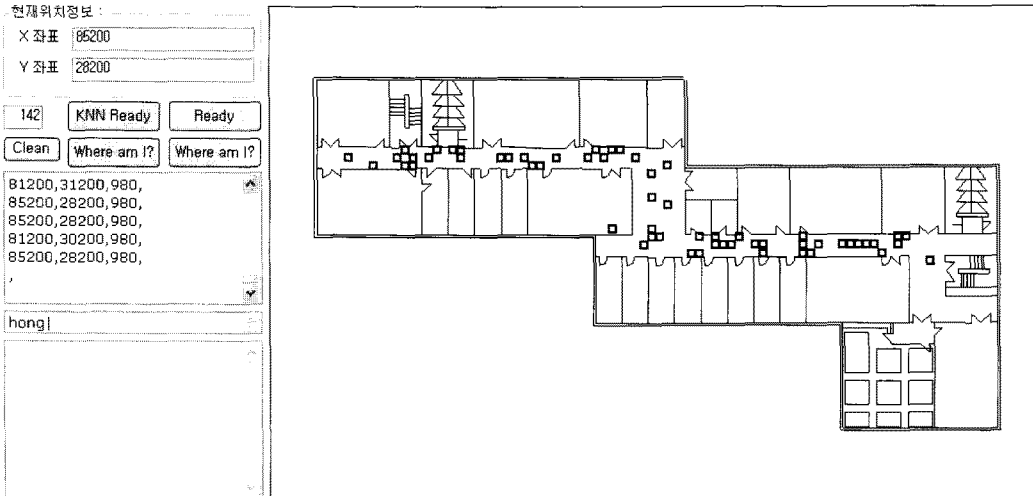
고, X의 X좌표는 18788.62, Y좌표는 40568.56이었다. 이때의 X 방향의 속도는 434.53mm/s 였고, Y 방향의 속도는 -138.75mm/s 였다. <그림 6>에서 점들은 전송한 실측치를 나타낸다. 전송이 생략된 횟수를 카운트하여, 25회에 대한 평균을 구한 결과 약 74.6번 (52.5%)을 전송하지 않고 예측 값으로 대체함을 알 수 있었다.

제안하는 전략이 오차에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각 실험치와 실제 궤적 사이의 차이를 구한 결과, 매초 K-NN 방법을 실행하여 얻은 측정치는 오차 평균이 2.924 미터인데 반하여, 제안하는 갱신전략을 적용한 결과는 오차 평균이 3.05 미터이다. 즉, 갱신을 생략한 대가로 오차가 0.126 미터 증가하였다. 문턱 값 3미터를 적용한 25회 실험의 결과는 <표 1>에 요약하였다. 표에서 데이터베이스 위치란 데이터베이스가 질의문을 처리할 때 이동객체의 위치로 사용하는 값이다.

이번에는 문턱 값을 2미터로 하여, 예측치와



<그림 5> K-NN 방법의 측위 결과



<그림 6> 문턱 값 3미터를 적용하여 칼만 필터를 이용한 갱신전략 실험 결과

실측치의 차이가 2 미터 이하이면 갱신을 생략하는 실험을 실시하였다. 그 결과 전송을 생략한 횟수는 약 37번(26%)이고 오차평균은 약 2.956 미터이었다. 이상의 실험 결과를 요약하

면 <표 2>와 같다. 즉 문턱 값을 2미터로 하나 3미터로 하나 오차에 미치는 영향은 미미하지만, 전송을 생략하는 비율은 큰 차이를 보인다.

<표 1> 문턱 값을 3미터로 한 칼만 필터 이용 갱신전략 실험 결과 요약

	생략 횟수	데이터베이스 위치의 오차(mm)
실험 1	73	2997.04
실험 2	78	2878.64
실험 3	77	3119.42
실험 4	74	3137.73
실험 5	75	3118.76
실험 6	77	3085.85
실험 7	71	3032.37
실험 8	71	3327.12
실험 9	69	3190.85
실험 10	78	3017.06
실험 11	73	3410.38
실험 12	79	3017.00
실험 13	77	3158.51
실험 14	78	2887.55
실험 15	73	3014.85
실험 16	77	3056.96

실험 17	76	3041.50
실험 18	74	2977.30
실험 19	73	3244.66
실험 20	71	2962.64
실험 21	74	3082.95
실험 22	76	2780.01
실험 23	76	2969.83
실험 24	72	2926.96
실험 25	73	2867.55
전체 평균	74.6	3052.14

<표 2> 칼만 필터 이용 갱신전략 실험 결과 요약

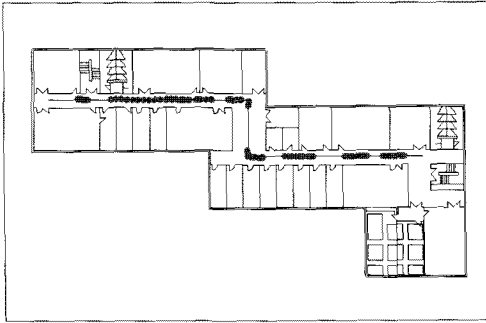
	매초 1회 전송	문턱 값 = 3미터	문턱 값 = 2미터
전송 생략 횟수	0	74.6번(52.5%)	37번(26%)
오차 평균(미터)	2.924	3052.14	2.956

이번에는 <그림 7>에 보이는 바와 같이 칼만 필터 결과를 가장 가까운 통로 상의 점으로 이동하고, 이동객체의 궤적을 역추적한 다음, 위에 소개한 갱신 전략을 적용하는 실험을 하였다. 문턱 값으로 3미터를 사용하였으며, 이상치(outlier)를 무시하기 위하여 예측치와 측정치의

차이가 문턱 값보다 3회 연속으로 클 때 갱신을 재개하는 전략을 사용하였다. 이와 같이 칼만 필터와 정합을 결합한 갱신 전략을 적용한 전형적인 실험 결과는 <그림 8>과 같으며, 25회 실험의 평균 오차는 2.364 미터이고 평균 전송 생략 횟수는 49.12회(34.6%)임을 보였다.

- 1) 칼만 필터를 이용하여 수립된 좌표(EndPoint)를 얻음.
- 2) foreach (Polyline Strada in realDxfImporter.passLine) {
 - foreach (Line Block in Strada) {
 - PointD p1 = Block.AccessStartPoint;
 - gap2 = Math.Sqrt(Math.Pow((p1.X - EndPoint.X), 2.0) + Math.Pow((p1.Y - EndPoint.Y), 2.0));
 - if (gap > gap2) {
 - matchingPoint = p1;
 - gap = gap2;
 - } // foreach (Line Block in Strada)
- } // foreach (Polyline ...)
- 3) 칼만 필터의 x속도와 y속도를 이용하여 역으로 추적하여 시작 지점을 찾음.

<그림 7> 칼만 필터와 정합을 모두 사용하는 갱신 전략



<그림 8> 칼만 필터와 정합을 결합한 갱신 전략의 실험 결과 화면

일련의 측정치를 입력으로 받아 이동객체의 경향을 잘 나타내는 궤적을 구하는 전형적인 방법으로 (1)에 보이는 망각률을 이용하는 방법이 있다.

$$\text{위치} = \text{위치} * (1 - \text{망각률}) + \text{측정치} * \text{망각률} \quad (1)$$

본 실험에서는 K-NN으로 구한 측정치에 망각률 0.1을 적용한 결과 오차 평균이 약 3.7미터가 되고, 망각률 0.2를 적용한 결과 오차평균이 약 1.9 미터가 되었으며, 망각률 0.3을 적용하면 오차평균이 약 1.84, 망각률 0.4를 적용하면 오차평균이 2 미터로 증가함을 보였다. 이로부터 식 (1)이 궤적을 구하기 위한 매우 유용한 방법임을 알 수 있다. 그러나 이동객체의 속도를 구하는 데에는 망각률을 이용한 방법이 좋지 않음을 보였다. 즉, 식 (1)을 적용하여 얻은 j 번째 위치에서 $j-1$ 번째 위치를 빼서 얻은 속도가 전혀 수렴하지 않음을 보였다. 또한 j 번째 측정치에서 $j-1$ 번째 측정치를 빼서 얻은 속도들에 식 (1)을 적용하여 얻은 속도도 역시 수렴하지 않음을 보였다. 이와 같은 결과는 측정치의 오차가 너무 크기 때문이다. 그럼에도 불구하고 칼만 필터는 9개의 측정치를 처리하면 P값이

0.05 미만으로 작아지고 비교적 정확하게 속도를 계산해 냄을 보였다.

V. 결론

이동객체 데이터베이스 분야의 가장 중요한 연구 주제 중 하나가 통신비용을 절감하는 갱신전략이다. 본 논문은 옥내 이동객체 데이터베이스 갱신전략으로 칼만 필터를 사용하는 무정보추산방법을 제안하고, 제안하는 방법의 효율성을 분석하는 실험결과를 제시하였다. 제안하는 방법의 기본 전략은 i 개의 실측치에 칼만 필터를 적용하여 i 번째 상태를 계산하고, i 번째 상태로부터 $i+1, i+2, \dots$, 번째 위치를 예측하는 것이다. 예측치와 측정치의 차이가 문턱 값보다 작으면 갱신을 생략하고, 문턱 값을 넘으면 전송을 재개한다.

제안하는 방법을 AP의 신호세기를 이용한 K-NN 방법으로 구한 위치 측정치에 적용하여 문턱 값 3미터를 적용할 때 통신량을 반 이하로 절감할 수 있음을 보였다. 또한 기존에 널리 사용되는 망각률을 이용하는 방법은 오차율이 매우 큰 K-NN 방법으로 구한 측정치에는 적용이 불가능한데 반하여 제안하는 방법은 오차가 큰 측정치에도 적용할 수 있음을 보였다.

이동객체 데이터베이스는 이동 객체들의 시공간 데이터를 저장한다. 즉, 각 이동객체에 대하여 어느 시점에 어디에 있었는지를 기록한다. 따라서 저장하는 데이터의 양이 방대한 특징이 있다. 본 논문은 칼만 필터를 이용하여 이동객체의 위치를 추정함으로써 이동객체 데이터베이스의 갱신 빈도를 줄임으로써 데이터베이스

의 저장 공간과 통신비용을 절약하는 방안을 제안하였다. 제안하는 방법으로 데이터를 저장하면, 검색을 원하는 임의의 시각의 위치를 보 간법으로 구한다.

본 논문이 제안한 옥내 이동객체 데이터베이스 갱신전략은 옥내 이동객체 데이터베이스 구현에 반드시 필요한 요소 기술이다. 또한 옥내 이동객체 데이터베이스는 옥내 위치기반서비스 실현의 핵심 기술이다. 옥내 위치기반서비스에는 지하상가에서 고객이 원할 것 같은 상품이나 정보를 능동적으로 제공하는 서비스, 박물관이나 전시장에서 관람객에게 현실감 있는 콘텐츠를 제공하는 서비스, 거대한 제철, 조선 공장이나 원자력 발전소 등에서 종업원들을 관리하는 서비스 등 부가가치가 높은 다양한 종류의 서비스가 있다. 본 논문은 이러한 옥내 위치기반서비스의 핵심 기술을 제공한다.

본 연구에서 제안한 갱신전략은 통신비용과 데이터 정확도의 상반관계를 해소할 수 있는 방안으로 다양한 옥내 위치기반서비스에 활용될 수 있다. 또한 본 연구 결과는 에너지 절감을 통한 서비스 개선이라는 측면에서 오늘날 중요한 이슈가 되고 있는 그린 IT를 실현하는데 기여할 수 있다는 시사점이 있다.

근래에는 웹 서비스에 대한 연구가 활발하다. 웹 서비스의 특징은 이미 개발한 컴포넌트의 기능과 사용법을 표준 묘사 방식으로 설명하여 인터넷에 공개함으로써, 비슷한 기능을 구현해야 하는 다른 시스템 개발자가 이미 공개된 컴포넌트를 자동으로 검색하여 재사용할 수 있도록 하는 것이다. 향후에는 본 연구에서 개발한 갱신 전략을 웹 서비스로 제공하고자 한다. 또한 본 연구가 2차원 공간을 전제로 하고 있지만

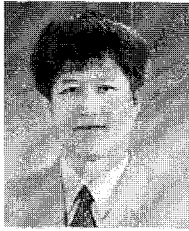
향후에는 3차원 공간의 이동객체를 대상으로 확장될 필요가 있다.

참고문헌

- 권혁신, 김세윤, 김응모, "이동 데이터베이스 시스템을 위한 효율적인 이타적 잠금기법", *Journal of Information Technology Applications & Management*, 제11권, 제1호, 2004, pp. 53-67.
- 이동만, 장성희, 안현숙, "u-비즈니스를 위한 RFID시스템 도입에 관한 실증연구", *정보시스템연구*, 제15권, 제4호, 2006, pp. 225-245.
- 임재걸, 주재훈, 정승환, "위치기반서비스를 위한 지동정보가 반영된 옥내측위통합 시스템", *정보시스템연구*, 제17권, 제1호, 2008, pp. 131-153.
- Bahl, P. and Padmanabhan, V., "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System", *INFOCOM 2000*, Mar. 2000, pp. 775-784.
- Casas, R., Cuartielles, D., Marco, A., Gracia, H.J., and Falco, J.L., "Hidden Issues in Deploying an Indoor Location System," *Pervasive Computing*, Vol. 6, 2007, pp. 62-69.
- Hand, A., Cardiff, J., Magee, P., and Doody, J., "An Architecture and Development Methodology for Location-Based Services," *Electronic Commerce Research and Applications*, Vol. 5, 2006, pp. 201-208.

- Harter, A. and Hopper, A., "A New Location Technique for the Active Office", *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, 1997, pp. 43-47.
- Ito, S. and Kawaguchi, N., "Bayesian Based Location Estimation System Using Wireless LAN", *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, 2005, pp. 273 - 278.
- Lassabe, F., Canalda, P., Chatonnay, P., and Spies, F., "A Friis-Based Calibrated Model for WiFi Terminals Positioning", *Sixth IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, WoWMoM 2005*, June 2005, pp. 382-387
- Lin, T.N. and Lin, P.C., "Performance Comparison of Indoor Positioning Techniques Based on Location Fingerprinting in Wireless Networks", *Proceedings of the 2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, Vol. 2, June 2005, pp. 1569-1574.
- Olston, C. and Widom, J., "Offering a Precision-Performance Tradeoff for Aggregation Queries over Replicated Data", *26th International Conference on Very Large Data Bases*, September 2000.
- Priyanthat, N., Chakraborty, A., and Balakrishnan, H., "The Cricket Location-Support System," *Proc. of 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, Boston, MA, Aug. 2000.
- Tao, Y., Xiao, X., and Cheng, R., "Range Search on Multidimensional Uncertainty Data", *ACM Transactions on Database Systems*, Vol. 32, Issue 3, 2007, pp. 1-54.
- Want, R., Hopper, A., Falcao, V., and Gibbons, J., "The Active Badge Location System", *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 10, No. 1, 1992, pp. 91-102.
- Welch, G. and Bishop, G. "An Introduction to the Kalman Filter", Updated: March 8, 2007, <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/kalmanIntro.html>
- Wolfson, O., "Moving Objects Information Management: The Database Challenge", *Proceedings of the 5th Workshop on Next Generation Information Technologies and Systems (NGITS'2002)*, June 2002, pp. 1-13.
- Yim, J., "Introducing a Decision Tree-based Indoor Positioning Technique", *Expert Systems with Applications*, Vol. 34, No. 2, 2008, pp. 1296-1302.
- Yim, J., Park, C., Joo, J., and Jeong, W., "Extended Kalman Filter for Wireless LAN Based Indoor Positioning," *Decision Support Systems*, Vol. 45, 2008, pp. 960-971.

임재걸 (Yim, Jaegel)



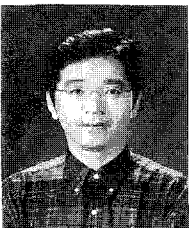
현재 동국대학교(경주캠퍼스) 공학대학 컴퓨터멀티미디어학과 교수로 재직 중이다. 일리노이 주립대학교에서 컴퓨터 과학 박사학위를 취득하였다. 주요 관심 분야는 패트리 넷 이론과 응용, 시스템 분석, 컴퓨터 네트워크, 인공지능 등이다. 한국정보과학회논문지, 한국정보처리학회논문지, 대한전자공학회논문지, 멀티미디어학회논문지, Information Sciences 등에 다수의 논문을 게재하였다.

주재훈 (Joo, Jaehun)



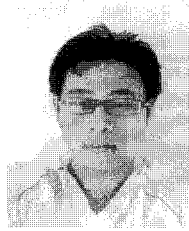
현재 동국대학교(경주캠퍼스) 경영·관광대학 정보경영학과 교수로 재직 중이다. 부산대학교에서 경영학박사 학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 전자상거래와 e-비즈니스 전략/모형/개발방법론, 시맨틱 웹, 집단지성, 상황인지 및 유비쿼터스 응용, 웹기반 DSS 등이다. 경영학연구, 경영정보학연구, 한국경영과학회지, Journal of Sustainable Tourism, DSS, Information Systems Management, International Journal of Industrial Engineering, Expert Systems with Applications, Journal of Computer Information Systems 등에 다수의 논문을 게재하였다.

박찬식(Park, Chansik)



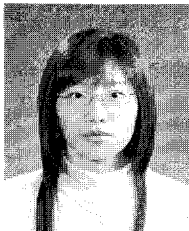
서울대학교에서 학사, 석사, 박사 학위를 취득하였다. 현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수로 재직하고 있다. 연구관심분야는 GNSS, SDR, AJ, ITS, WSN 등이다.

권기용 (Gwon, Kiyong)



현재 동국대학교(경주) 컴퓨터멀티미디어학과 재학중이며, 관심분야는 멀티미디어시스템, 위치기반 서비스, 소프트웨어 설계 및 개발이다.

김민혜(Kim, Minhye)



현재 동국대학교(경주) 컴퓨터멀티미디어학과 재학중이며, 관심분야는 위치기반서비스 응용시스템 개발이다.

<Abstract>

Updating Policy of Indoor Moving Object Databases for Location-Based Services: The Kalman Filter Method

Jaegeol Yim · Jaehun Joo · Chansik Park · Kiyong Gwon · Minhye Kim

This paper proposes an updating policy of indoor moving object databases (IMODB) for location-based services. Our method applies the Kalman filter on the recently collected measured positions to estimate the moving object's position and velocity at the moment of the most recent measurement, and extrapolate the current position with the estimated position and velocity. If the distance between the extrapolated current position and the measured current position is within the threshold, in other words if they are close then we skip updating the IMODB. When the IMODB needs to know the moving object's position at a certain moment T , it applies the Kalman filter on the series of the measurements received before T and extrapolates the position at T with the estimations obtained by the Kalman filter. In order to verify the efficiency of our updating method, we performed the experiments of applying our method on the series of measured positions obtained by applying the fingerprinting indoor positioning method while we are actually walking through the test bed. In the analysis of the test results, we estimated the communication saving rate of our method and the error increment rate caused by the communication saving.

Keywords: Location-Based Service, Moving Object Database, Indoor Positioning, Kalman Filter

* 이 논문은 2009년 9월 17일 접수하여 1차 수정을 거쳐 2009년 10월 19일 게재 확정되었습니다.