

위치기반서비스를 위한 무선 근거리통신망 기반의 사용자 추적방법 및 실험

Wireless LAN-Based User Tracking Method and Experiment for Location-Based Services

임재걸(Jaegeol Yim)*, 주재훈(Jaehun Joo)**, 정승환(Seunghwan Jeong)***

초 록

위치기반서비스에서 사용자의 위치를 확인하고 추적하는 것이 필수적이다. 특히 옥내에서 위치기반서비스를 제공하기 위해 많은 연구자들은 무선 근거리통신망 환경에서 사용자의 옥내 위치추적에 대해 연구를 수행해 오고 있다. 한편, GPS를 이용하는 옥외에서의 위치추적에는 칼만필터(Kalman filter)가 이용되기도 하였다. 본 연구에서는 오늘날 널리 보급되어 있는 무선 근거리통신망 환경에서 옥내 위치추적에 적용될 수 있는 확장칼만필터 방법을 제안한다. 기존 연구와 본 제안방법을 비교 실험한 결과, 칼만 필터를 사용함으로써 궤적 측정치의 정확도를 제고할 수 있으며, 나아가서 지도정보를 이용함으로써 정확도를 더욱 제고할 수 있음을 보인다.

ABSTRACT

LBS (Location Based Service) cannot be realized unless we can obtain the user's current location. Therefore, in order to realize indoor LBS, many researchers have been working on WLAN (Wireless Local Area Network) based indoor positioning and tracking. Meanwhile, Kalman filter has been widely used in the field of GPS based outdoor user tracking. The main purpose of this paper is proposing an extended Kalman filter method for indoor tracking. Our experimental results show that Kalman filter can be used to improve the accuracy of the measured tracks and the track can be further improved by making use of the map information.

키워드 : 위치기반서비스, 무선근거리통신망, 옥내측위, 옥내추적, 칼만필터
Location-Based Service, Wireless Local Area Network, Indoor Positioning, Indoor Tracking, Kalman Filter

이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-B00292).

* 동국대학교 컴퓨터멀티미디어학부 교수

** 교신저자, 동국대학교 경상학부(정보경영학과) 교수

*** 동국대학교 컴퓨터멀티미디어학부 연구원

2008년 04월 03일 접수, 2008년 10월 21일 심사완료 후 2008년 11월 03일 게재확정.

1. 서론

위치기반서비스(Location-Based Services : LBS)란 사용자의 현재 위치를 고려한 정보 제공 서비스이다[11]. 항법시스템, 구급시스템, 관리시스템, 물류시스템 등을 포함한 여러 유용한 시스템이 그 예에 해당한다. 이들 실용적인 시스템에서는 일반적으로 사용자 위치 측정 및 추적 도구로 GPS (Global Positioning System)를 사용하고 있다.

LBS는 매우 유용한 서비스이고, 옥내에서도 위치 확인이 필요하기 때문에 옥내위치기반서비스를 제공할 필요성이 제기되어 왔다. 특히 대형 건물이나, 구내에 대형 건물이 많은 회사·대학·공장 등에서는 옥내위치기반서비스가 절실히 요구된다. 그러나 옥내에서는 GPS 신호가 너무 약하기 때문에, 사용자가 옥내에 위치할 경우에는 GPS만으로 사용자의 위치를 판단하는 것이 불가능하다. 그래서 GPS 중심의 옥외 측위와 별도로 옥내 측위에 대한 많은 연구가 이루어져왔다. 예를 들어, 적외선 신호를 감지하여 위치를 파악하는 Active Badge[14], 초음파와 RF(Radio Frequency) 신호의 지연시간을 이용하는 Active Bat[6]과 Cricket[10], UDP 패킷의 신호 세기를 이용한 RADAR[5] 등이 옥내 측위 연구의 대표적인 예이다. 이들 기존의 옥내측위방법은 정확도가 높지만 측위만을 위한 특수장비를 설비해야만 측위가 가능하다는 단점이 있다.

특수 장치를 필요로 하지 않는 옥내 측위방법도 많이 개발되었다. 이러한 방법들은 대부분 무선근거리통신망(Wireless Local Area Network : WLAN) 장비를 사용한다. 오늘날

에는 무선근거리통신망이 대학교정, 공항, 호텔 등은 물론 가정에까지 널리 설치되어 있으므로 무선근거리통신망을 이용하는 방법은 범용성이 크다. 그래서 본 논문이 제안하는 추적 방법도 무선근거리통신망 기반이다. 무선근거리통신망 기반 추적 시스템은 접근포인트(Access Point : AP)로부터 수신한 신호의 세기(Received Signal Strength : RSS)를 바탕으로 사용자의 위치를 판정한다. 무선근거리통신망 기반 사용자 측위에서 일반적으로 많이 사용되는 방법은 지문방식(fingerprinting methods)이다[5, 9, 13, 14, 15, 16]. 지문방식에 속하는 기술도 다양하게 많이 있는데, 그 중에서 가장 기본적으로 사용되는 기술은 K-NN(K Nearest Neighbors : K개의 가장 근접한 이웃)이다[5].

지문방식을 적용한 측위는 준비단계와 실시간단계로 구성된다. 준비단계에서는 실제 적용 구역을 바둑판 모양으로 나누고, 바둑판의 각 눈금에서 여러 AP로부터 읽히는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)들을 실측한다. 바둑판의 각 눈금을 후보지점이라 칭하고 후보지점에서 측정된 RSSI로 구성된 벡터를 지문이라고 칭한다. 실시간 단계에서는 사용자의 현재 위치에서 RSSI를 수집한 다음, 준비단계에서 작성한 지문과 비교하여 가장 근접한 지문을 선택하여, 그 지문에 해당하는 후보지점을 사용자의 현재 지점으로 판정한다. 이때 가장 근접한 지문을 K개 선택하여, 해당 후보지점의 좌표의 평균을 사용자의 현재 지점으로 판정하는 방식이 K-NN 방식이다.

지문방식은 정확도가 상당히 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 준비단계의 작업이 너무

많은 시간과 노력을 요한다는 치명적인 단점을 안고 있다. 이에 대한 대안으로 전파손실모형을 이용하는 방법이 있다[8]. 전파손실모형은 거리와 신호세기의 관계를 나타내는 간단한 관계식이다. 어떤 AP로부터의 신호세기를 알면, 이 관계식을 이용하여 그 AP까지의 거리를 구할 수 있다. 그러나 신호세기에 영향을 미치는 인수가 너무 많아서 정확한 전파손실모형을 구축하기가 매우 어렵고, 따라서 전파손실 모형을 이용한 측위 방법은 지문방식보다 정확성이 떨어진다.

칼만필터는 측정값에 내재한 잡음을 다루기에 적당한 도구이다. 실제로 블루투스 기반의 옥내 측위에 확장칼만필터를 적용한 사례가 Kotanen et al.[7]에 이미 소개된 바 있다. 칼만필터 처리 과정은 현재 상태를 예상(prediction)하여 예상치를 만드는 단계와 측정치(measurement)를 적용하여 예상치를 수정함으로써 예측치(estimate)를 만드는 단계를 종료 조건이 만족할 때까지 반복한다. Kotanen et al.[7]에 소개된 칼만필터는 블루투스 신호의 세기를 측정치로 사용한다. 별도의 장치가 필요하지 않고 오늘날 널리 보급되어 있는 무선근거리통신망에 블루투스 기반 측위 방법을 확장하게 되면, 옥내측위의 유용성이 증가하게 된다. 따라서 본 연구의 첫 번째 목적은 칼만필터를 이용한 무선근거리통신망기반의 추적방법을 제안하는 것이다.

무선근거리통신망 환경에서 추적에 관한 연구도 본 연구가 처음은 아니다. Wang et al.[12]이 칼만필터를 이용한 추적 방법을 이미 소개한 바 있다. 그러나 그들이 소개한 방법은 K-NN 측위 결과를 측정치로 사용하는 칼만필터인데 반하여 본 논문에서 제안하는

추적방법은 신호세기를 환산하여 얻은 거리를 측정치로 사용하는 확장칼만필터 방법이라는 점이 Wang et al.[12]과 다르다. 앞에서 언급한 바와 같이 K-NN 방법은 준비단계에서 많은 시간과 노력을 소비해야 하는 지문방식이다. 따라서 본 연구는 Wang et al.[12]에 소개된 방법을 확장하여 준비단계가 필요 없는 확장칼만필터 추적 방법을 제안한다는 점에 의의가 있다. 또한 본 연구에서는 확장칼만필터 기반의 새로운 추적 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 지도 정보를 이용하여 확장칼만필터의 인수 값을 조절함으로써 더욱 정확한 경로를 찾아주는데 활용된다.

끝으로 본 연구에서는 제안 알고리즘과 타 옥내측위 알고리즘을 구현하여, 그들의 성능을 비교하는 실험을 수행하고, 대표적인 실험 결과를 소개하여 그 실험 결과를 분석하고자 한다.

2. 관련 연구

블루투스 환경에서 측위를 위한 확장칼만필터 방법을 제안한 Kotanen et al.[7]과 K-NN 측위를 측정 방법으로 사용하는 칼만필터를 이용한 추적 방법을 제안한 Wang et al.[12]의 연구가 본 연구와 관계가 깊다. 또한 사용자와 AP 사이의 거리로 사용자의 위치를 계산하는 방법인 삼각측량법도 본 연구와 관련이 깊다. 따라서 본 절에서는 K-NN 방법, 삼각측량법, 칼만필터를 소개한다.

2.1 K개의 가장 근접한 이웃(K-NN)

사용자의 위치를 판정하는 K-NN 측위 방

법은 준비단계와 실시간단계로 구성된다. 준비 단계에서는 측위가 적용되는 전 구역을 바둑판 모양으로 나누어 각 눈금을 후보지점이라고 칭하고, 각 후보지점에서 RSSI를 여러 차례 측정한다. 준비단계의 목적은 각 후보지점과 그 지점에서 측정한 RSSI 값들의 평균값으로 구성된 <표 1>과 같은 찾아보기 표를 작성하는 것이다. <표 1>에서 CPi(CP1, CP2, ...)는 i번째 후보지점의 x-좌표와 y-좌표로 구성된 순서쌍이다.

실시간단계에서는 사용자의 현재 위치에서 RSSI들을 판독한 다음 찾아보기 표에서 K 개의 가장 가까운 행을 찾는다. 예를 들어, 현재 위치에서 판독한 RSSI들의 값이 x=(-40, -56, -54, -69, -66)이라면 찾아보기 표의 첫 행과 x와의 거리는 다음과 같다 :

$$\sqrt{(-40-(-39))^2 + (-56-(-55))^2 + (-54-(-56))^2 + \dots}$$

K 개의 가장 가까운 행을 찾은 다음에는 이 행들의 후보지점 값들의 평균을 사용자의 현재 위치로 판정한다.

<표 1> 찾아보기 표의 예

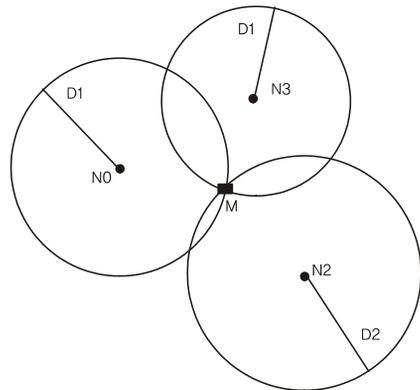
C.P \ AP	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
CP1	-39	-55	-56	-70	-67
CP2	-40	-56	-55	-69	-66
CP3	-44	-42	-62	-45	-61
...

주) * C.P는 후보지점을 나타내며, CPi란 i번째 후보지점이고, APi란 i번째의 MAC 주소이다.

2.2 삼각측량법

<그림 1>에 보이는 바와 같이, 위치가 각각 (X_0, Y_0, Z_0) , (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) 인 세 지점, N_0, N_1, N_2 각각으로부터 이동물체 M까지의 거리 D_0, D_1, D_2 를 알면 삼각측량법으로 M의 위치를 계산할 수 있다. M의 좌표를 (x, y, z) 라 하면, D_i^2 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2 = D_i^2, \quad (\text{for } i = 0, 1, 2, \dots, m-1) \quad (1)$$



<그림 1> 세 고정점의 위치와 이동물체까지의 거리를 이용한 이동물체 위치의 결정

좌표가 3차원이면 위치를 알고 있는 고정점의 수가 4개 이상이어야 이동물체 M의 위치가 결정된다. A, \vec{x}, \vec{b} 를 각각 다음과 같이 정의하면, 식 (1)로 부터 다음과 같은 등식을 유도해 낼 수 있다.

$$A\vec{x} = \vec{b} \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2(X_1 - X_0) & 2(Y_1 - Y_0) & 2(Z_1 - Z_0) \\ 2(X_2 - X_0) & 2(Y_2 - Y_0) & 2(Z_2 - Z_0) \\ 2(X_3 - X_0) & 2(Y_3 - Y_0) & 2(Z_3 - Z_0) \\ \dots & \dots & \dots \\ 2(X_{m-1} - X_0) & 2(Y_{m-1} - Y_0) & 2(Z_{m-1} - Z_0) \end{bmatrix}, \quad \bar{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$\bar{b} = \begin{bmatrix} (X_1^2 - X_0^2) + (Y_1^2 + Y_0^2) + (Z_1^2 + Z_0^2) - (D_1^2 + D_0^2) \\ (X_2^2 - X_0^2) + (Y_2^2 + Y_0^2) + (Z_2^2 + Z_0^2) - (D_2^2 + D_0^2) \\ (X_3^2 - X_0^2) + (Y_3^2 + Y_0^2) + (Z_3^2 + Z_0^2) - (D_3^2 + D_0^2) \\ \dots \\ (X_{m-1}^2 - X_0^2) + (Y_{m-1}^2 + Y_0^2) + (Z_{m-1}^2 + Z_0^2) - (D_{m-1}^2 + D_0^2) \end{bmatrix}$$

식 (2)의 해인 (x', y', z') 은 다음의 식 (3)에 정의된 δ 를 최소화하는 값이다.

$$\delta = (A\bar{x}' - \bar{b})^T (A\bar{x}' - \bar{b}), \quad \bar{x}' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad (3)$$

최소평균오류자승(MMSE : Minimum Mean Square Error) 방법을 적용하면 식 (4)를 이용하여 \bar{x}' 를 구할 수 있다.

$$\bar{x}' = (A^T A)^{-1} A^T \bar{b} \quad (4)$$

2.3 확장칼만필터 측위

칼만 필터는 GPS 데이터를 이용하여 우리별 3호의 케플러 궤도 요소를 계산하고[1], 모선과의 거리와 수압 측정치로부터 무인잠수정의 위치를 계산하고[2], 여러 대의 카메라로부터 얻은 동영상에서 다관절 물체의 3차원 운동 및 자세를 추정하고[3], 잡음이 많은 감지 데이터로부터 용접 로봇의 경로를 계산하는[4] 등 다양한 분야에서 널리 이용되고 있다.

본 논문에서는 이동물체의 현재 위치를 판정하는 목적으로 칼만필터를 이용하고자 한다. Kotanen et al.[7]에 소개된 확장칼만필터 측위 방법에서는 이미 위치를 알고 있는 블루투스 안테나로부터 신호의 세기를 판독한 다음, 전파손실 모형을 이용하여 안테나까지의 거리를 계산한다. 고정안테나의 위치를 알고, 고정안테나까지의 거리를 알면 삼각측량 방법으로 사용자의 위치를 계산할 수 있는데, 이러한 방법의 단점은 전파 잡음이 심하여 정확한 전파손실 모형을 구축하기가 매우 어렵다는 것이다. 전파손실모형이 부정확하면 계산한 거리가 부정확하게 되고 따라서 삼각측량법의 결과인 사용자의 위치도 부정확하게 된다. 이와 같이 계산 결과가 부정확한 경우에는 여러 번의 계산치의 평균을 최종 계산치, 즉 사용자의 위치로 예측한다.

칼만필터방법은 현재 가지고 있는 예측치와 새로운 측정치를 예측 오류의 분산이 최소화되도록 혼합하여 새로운 예측치를 생성하는 방법으로 이미 오래 전부터 사용되어 왔다. 따라서 블루투스 환경의 측위에도 칼만필터가 적당한 방법이다. 측위에서는 칼만필터 처리 과정에서 예측할 값이 사용자의 위치를 나타내는 좌표인데 반하여 측정하는 것은 거리이다. 그러므로 칼만필터 처리 과정에서 거리를 좌표로 환산하거나 좌표를 거리로 환산하는 작업이 필요하게 되었다. 이러한 과정을 적용하여 칼만필터를 확장한 방법을 확장칼만필터라 한다.

칼만필터 측위[7]에서는 사용자의 위치를 나타내는 3차원 벡터 x 를 칼만필터의 상태 변수로 선정하는 것이 적당하다. 그러면 측위를 위한 상태 모형과 측정 모형은 각각 다음

에 보이는 식 (5)와 식 (6)으로 표현된다.

$$x_{k+1} = x_k + w_k, \quad (5)$$

$$z_k = h(x_k) + v_k. \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)에서 w_k 와 v_k 는 각각 k 단계의 상태모형과 측정모형의 잡음을 나타내며, 식 (7)과 식 (8)에 보이는 바와 같이 서로 독립이고 백색 정상분포라고 가정한다.

$$p(w) \sim N(0, Q), \quad (7)$$

$$p(v) \sim N(0, R). \quad (8)$$

측위는 사용자가 정적인 상태에서 위치를 판정하는 것임으로, Q_k 값으로는 $0_{3 \times 3}$ (영 행렬)이 적당하고 R_k 는 측정치의 분산을 실험을 통하여 찾아 사용하는 것이 적당하다. 블루투스 환경의 측위에서는 식 (6)의 측정치 z_k 가 거리로 구성된 벡터인데 반하여 x 는 좌표를 나타내는 벡터임으로, i 번째 행이 i 번째 고정안테나와 이동물체 사이의 거리를 나타내는 행렬 $h(x)$ 는 식 (9)와 같이 정의될 수 있다. 식 (9)에서 i 는 고정안테나의 인덱스이고 j 는 좌표의 인덱스이다.

$$h_i(x) = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (x_{ij} - x_j)^2} \quad (9)$$

이동물체의 실제 위치는 x_k 로, 현재 예측치는 \hat{x}_k 로 각각 표기하자. 실제 위치와 예측치 간의 오차를 Δx_k 로 표기하면 이들간의 관계식을 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_k = \hat{x}_k + \Delta x_k. \quad (10)$$

그러면 $h(x_k)$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$h(x_k) \approx h(\hat{x}_k) + H_k \Delta x_k, \quad (11)$$

$$H_k = \left[\frac{\partial h}{\partial x} \right]_{x=\hat{x}_k} \quad (12)$$

행렬 H_k 의 i 번째 행은 다음에 보이는 식 (13)으로 구할 수 있다.

$$h_i^T = -\hat{x}_k^T / h_i(\hat{x}_k). \quad (13)$$

측위에서는 이전 단계의 예측치를 그대로 현 단계의 예상치로 사용한다. 즉, 다음의 식 (14)로 예상치를 구한다.

$$\hat{x}_{k+1}^- = \hat{x}_k \text{ 이고 } P_{k+1}^- = P_k. \quad (14)$$

그러면 측위를 위한 칼만필터 처리 과정을 구성하는 나머지 식은 다음과 같으며, 칼만필터 처리 과정은 식 (12)부터 식 (17)까지를 미리 정한 종료조건을 만족할 때까지 반복한다.

$$K_{k+1} = P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R_{k+1})^{-1} \quad (15)$$

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k + K_{k+1} (z_{k+1} - \hat{z}_{k+1}) \quad (16)$$

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} H_k) P_k (I - K_{k+1} H_k)^T + K_{k+1} R_{k+1} K_{k+1}^T, \quad (17)$$

위 식에서 $\hat{z}_{k+1} = h(\hat{x}_k)$ 이다. \hat{x}_{k-1} 과 P_{k-1} 의 초기값을 결정하는 방법은 다양하다. 예를 들

면 \hat{x}_{k-1} 은 처음 측정치로 초기화하고 P_{k-1} 은 예측치의 오류의 분산을 나타내는 상당히 큰 수로 초기화하는 것도 한가지 방법이다.

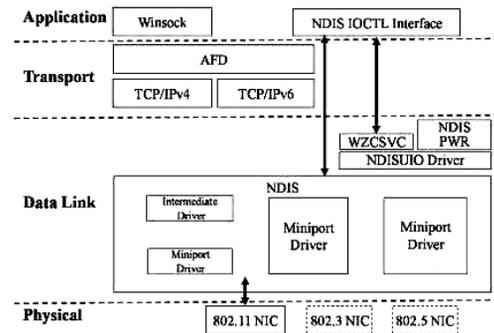
3. 신호세기판독 프로그램

무선근거리통신망 기반 옥내 측위는 다른 방법들보다 경제적이기 때문에 근래에 많은 관심을 끌고 있다. 무선근거리통신망 기반 옥내 측위 시스템을 구현하려면 AP로부터 RSSI를 반드시 판독해야 한다. 따라서 본 연구에서는 RSSI를 판독하는 C# 동적 연결 라이브러리 함수를 제안한다.

802.11 네트워크 인터페이스 카드는 무선 근거리통신망의 OSI 물리 계층과 데이터 링크 계층 사이의 통신을 담당하는 장치로서, 네트워크 매체에 물리적인 접근과 MAC 주소를 이용한 저 수준의 주소 시스템 기능을 제공한다. 따라서 컴퓨터는 802.11 네트워크 카드를 통하여 AP들이 브로드캐스트한 SSID, BSSID, RSSI, 네트워크 유형, 등의 정보를 받아, RSSI가 가장 강한 AP를 선택하여 그 AP와 통신한다.

컴퓨터에서 실행되는 응용프로그램은 NDIS(Network Driver Interface Specification)를 통하여 네트워크 카드와 통신한다. NDIS와 OSI 7계층의 다른 구성 요소들과의 관계는 <그림 2>에 보이는 바와 같다. NDIS는 마이크로소프트사와 3Com사가 공동으로 개발한 네트워크 인터페이스 카드를 위한 API(Application programming interface)이다. 즉, 응용프로그램은 NDIS 드라이버로 접근할 수 있는 NDIS IOCTL Interface를 구현함으로써 802.11

네트워크 카드로부터 정보를 읽어 올 수 있다. <그림 2>에 보이는 NDISUIO 드라이버는 Windows XP의 일부분으로 딸려오는 공개 코드로서 NDIS 드라이버에 대한 응용프로그램의 인터페이스를 제공한다.



<그림 2> 윈도우즈 통신 소프트웨어의 구조

Windows XP의 기본 무선유틸리티는 자체 구성(Wireless Zero Configuration)을 이용하여 무선 LAN을 초기화한다. <그림 2>의 WZCSVC(Wireless Zero Configuration Service)는 802.11을 지칭하는 OID를 이용하여 연결을 초기화하고, 장치 상태를 모니터링하고, 드라이버와 통신하는 서비스를 제공한다. 그런데, Windows XP가 자동으로 WZCSVC를 사용하기 때문에 우리가 이것을 사용하려면 Windows XP의 무선 LAN 설정 기능을 비활성화 시켜야 한다. 응용프로그램은 <그림 2>에 보이는 바와 같이 WZCSVC를 이용하여 NDISUIO를 통하여 802.11 카드와 통신할 수 있다. 응용프로그램과 무선 네트워크 카드와 통신하는 과정은 <표 2>와 같이 요약될 수 있다.

kernel32.dll에는 CreateFile(), DeviceIoControl(), CloseHandle(), FormatMessage() 등의 함수

〈표 2〉 응용프로그램과 무선네트워크 카드의 통신 과정 요약

- ① Windows XP의 WZCSVC를 비활성화 시킨다.
- ② kernel32.dll의 CreateFile() 함수로 NDISUIO 드라이버에 접근. CreateFile() 함수는 핸들을 반환한다.
- ③ kernel32.dll의 DeviceIoControl() 함수를 통해 Device들과 통신한다.
- ④ Device와 통신이 끝나면 CloseHandle() 함수로 Device와의 접근을 해제하고 Windows XP의 WZCSVC를 활성화 시킨다.

들이 있는데, 이들의 DLL 익스포트 함수들을 C# 코드에서 호출하기 위해서는 해당 함수에 대응되는 static, extern 메소드를 선언하고 이 메서드에 DllImport 애트리뷰트를 지정해야 한다. 즉, <표 3>과 같이 PInvoke(플랫폼 호출)를 정의해야 한다. <표 3>은 kernel32.dll의 함수들 중 DeviceIoControl() 함수에 대하여 PInvoke가 정의된 예이다.

〈표 3〉 DeviceIoControl() 함수의 PInvoke 정의

```
[DllImport("kernel32", SetLastError = true)]
private static extern bool DeviceIoControl(
void* hDevice, IO_CTL_CODE dwIoCtlCode,
void* lpInBuf, int nInBufSize,
void* lpOutBuf, int nOutBufSize,
out int lpBytesRet, void* lpOverlapped
);
```

CreateFile() 함수는 NDIS_FILE_NAME (@“\\.\Ndisuio”)으로 NDISUIO 드라이버에 연결을 시도하고 연결이 성공되면 핸들(Handle)을 반환한다. DeviceIoControl() 함수의 첫 번째 매개변수는 앞에서 반환된 핸들이며, 두 번째 매개변수인 dwIoCtlCode는 수행하고자 하는 IO Control Code이다. Network Device와 통신할 경우 DeviceType(0x12), Access(0x110x2), Funtion, Method(0x0)의 속

성 값에 따라 IO Control Code를 다음과 같이 DDK(Winioctl.h, nuiouser.h)에 정의된 규칙으로 생성한다.

$$((DeviceType) \ll 16) | ((Access) \ll 14) | ((Function) \ll 2) | (Method)$$

여기서 Funtion 속성의 값에 따라 IO Control Code의 수행하는 역할이 달라지는데, 우리가 사용할 Function 값들과 InBuffer와 OutBuffer의 용도는 <표 4>에 나열된 바와 같다. 예를 들어, 두 번째 인수의 값이 Bind Wait이면, DeviceIoControl은 CreateFile()이 생성한 핸들로 네트워크 장치에 대한 접근을 시도하는데, 이 경우에는 InBuffer도 사용하지 않고 OutBuffer도 사용하지 않는다. <표 4>에 보이는 코드로 DeviceIoControl()을 이용하여 AP로부터 RSSI를 판독할 수 있다.

〈표 4〉 RSSI 판독을 위한 입출력제어코드와 버퍼 용도

IO Control Code	InBuffer	OutBuffer
Bind Wait(0 × 204)	not use	not use
Query Binding(0 × 203)	use	use
Open Device(0 × 200)	use	not use
Set Object ID(0 × 205)	use	not use
Query Object ID(0 × 201)	use	use

만약 통신 작업이 끝나면 CloseHandle() 함수를 통해 연결을 끝내며, Format-Message() 함수는 통신 작업 중 발생할 수 있는 Error에 대하여 원인을 메시지로 보여준다.

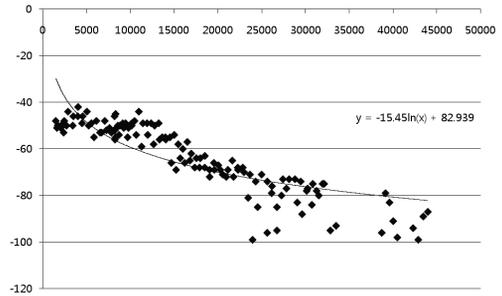
4. 무선근거리통신망 기반 추적을 위한 확장칼만필터

Kotanen et al.[7]에 소개된 확장칼만필터는 블루투스 환경의 측위 방법이다. 반면에, Wang et al.[12]에 소개된 칼만필터는 측정 방법으로 K-NN을 이용한 추적방법이다. 즉, Wang et al.[12]의 칼만필터는 측정 단계에서 K-NN을 적용하여 사용자의 위치를 측정한다. 이미 언급한 바와 같이 K-NN 측위는 많은 시간과 노력을 요구하는 준비단계를 필요로 하는 일종의 지문방식이다. 여기서는 무선 근거리통신망 환경에서 준비단계가 필요 없는 확장칼만필터를 이용한 추적방법을 제안한다.

제안하는 무선근거리통신망 기반 추적 프로그램은 이동터미널에서 실행되면서 AP로부터 RSSI를 관독하여 그 AP까지의 거리를 구한다. 거리 환산 단계에서는 거리와 RSSI 간의 관계식을 이용한다. 환산 단계에서 사용할 거리와 RSSI 간의 관계식을 구축하기 위하여, AP로부터 매 1m 마다 300회씩 RSSI를 관독하여 그들의 평균을 구한 다음, 거리를 x축에 그리고 RSSI를 y축에 대응시켜 <그림 3>과 같은 그래프를 작성하였다. 그리고 이 그래프로부터 식 (18)의 관계식을 유도하였는데 이 식에서 y는 RSSI를 그리고 x는 거리

를 나타낸다. 이 식을 바탕으로 장애물을 고려한 RSSI를 거리로 환산한다.

$$y = -15.4\ln(x) + 82.93 \quad (18)$$



<그림 3> 거리와 RSSI 간의 관계

추적을 위한 확장칼만필터의 경우에는 Kotanen et al.[7]의 예상 단계에서 적용하였던 식 (14)를 다음에 보이는 식 (19)로 교체해야 한다.

$$\hat{x}_{k+1}^- = A\hat{x}_k, \quad P_{k+1}^- = AP_kA^T. \quad (19)$$

여기에서 x 와 A 는 각각 다음과 같이 정의되어야 한다.

$$x_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \\ v_{xk} \\ v_{yk} \\ v_{zk} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

위 식에서 v_{xk} , v_{yk} 와 v_{zk} 는 각각 k-번째 예측시의 x축, y축, 그리고 z축 상의 속도를 나타내며, Δt 는 k-번째 예측과 (k+1)번째

예측 간의 시간 간격이다.

제안하는 확장칼만필터는 다음과 같은 초기치를 사용한다.

$$\hat{X}_0 = \text{the first measurement,}$$

$$P_0 = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix}$$

한편 H 는 식 (13)에 정의된 행렬이다. 이상의 인수 값으로 제 2절에 소개된 확장칼만필터를 적용함으로써 사용자를 추적할 수 있다.

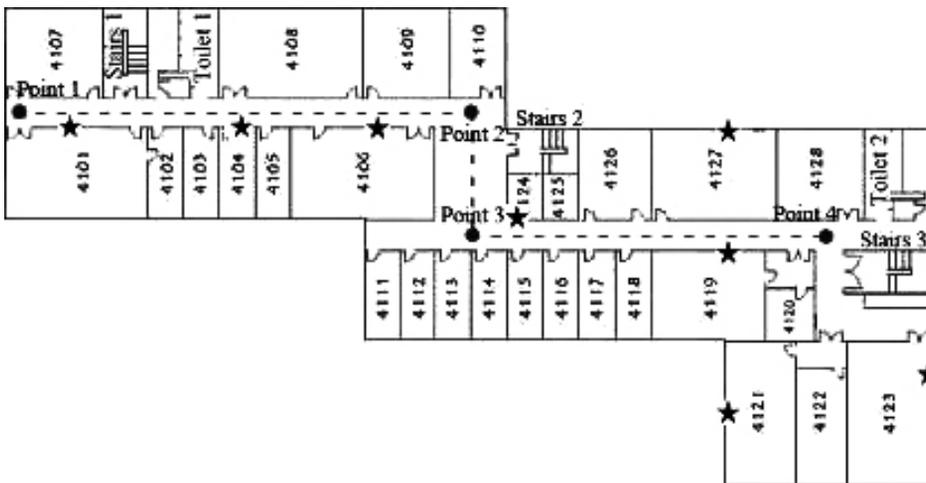
5. 비교실험

제안하는 확장칼만필터 추적 방법의 성능

을 실험적으로 평가하기 위하여 <그림 4>에 보이는 실험공간에서 삼각측량법을 연속적으로 적용하여 사용자의 궤적을 얻는 실험과 제안하는 추적 방법을 적용하는 실험을 수행하여 결과를 비교한다. 사용자가 실제로 걸어간 궤적은 <그림 4>에 점선으로 표시되었다.

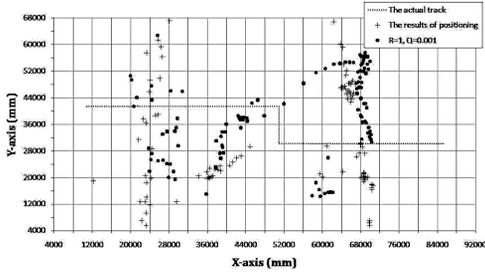
5.1 삼각측량법으로 얻은 궤적

사용자의 궤적을 삼각측량법으로 구하기 위하여, 사용자가 노트북 컴퓨터를 들고 <그림 4>에 점선으로 보이는 경로를 걸어가는 동안 매 초마다 RSSI를 수집하였다. 그리고 수집된 RSSI 데이터에 삼각측량법을 적용하여 일련의 사용자의 위치를 구하였다. 이렇게 구한 위치를 <그림 5>에 + 기호로 표시하였다. 그래프의 x, y축은 AutoCAD로 작성된 <그림 4>의 좌표를 나타내며 단위는 mm이다. 이렇게 구한 궤적과 실제 경로와의 오차를 매 시점마다 구하여 평균을 낸 결과 평균



<그림 4> 실험 공간 : 점선은 실제 궤적

오차가 33.97m이다.



<그림 5> 삼각측량법으로 구한 궤적과 실험 1로 구한 궤적 비교

5.2 확장칼만필터를 이용한 추적

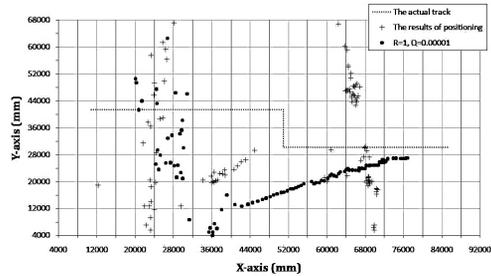
<표 5>에 보이는 바와 같은 두 가지 세트의 인수 값을 각각 적용하여 두 가지 확장칼만필터 추적 실험을 수행하였다. 행렬 R 과 Q 는 모두 대각행렬로서 식 (7)과 식 (8)에 보이는 바와 같이, 각각 측정 잡음의 분산과 상태모형의 잡음의 분산을 나타낸다. 행렬 R 이나 Q 모두 대각항들의 값이 서로 다를 수도 있으나 본 실험에서는 같다고 가정하고 행렬 R 의 대각항 값을 R_{value} , 행렬 Q 의 대각항 값을 Q_{value} 로 표기한다. 두 실험 모두에서 R_{value} 가 Q_{value} 보다 크지만, 비율 R_{value}/Q_{value} 는 실험 2의 경우가 훨씬 크다. 즉, 실험 1보다 실험 2

<표 5> 실험 1과 2의 인수 값

Matrix \ Experiment	R_{value} : The values of diagonal entries of R	Q_{value} : The values of diagonal entries of Q
Experiment 1	1	0.001
Experiment 2	1	0.00001

에서 상태모형의 잡음이 더 작다는 가정을 반영한 것이다.

실험 1의 결과가 <그림 5>에 점으로 표현되었다. 실험 1에서 얻은 경로의 평균 오차는 25.37m이다. 실험 2에서 얻은 경로는 <그림 6>에 보인다. <그림 6>에서도 실제 경로는 점선, 삼각측량법의 결과는 '+' 기호, 실험 2의 결과는 점으로 표현되었다. 실험 2에서 얻은 경로의 평균 오차는 25.25m이다.



<그림 6> 실제 경로, 삼각측량 결과, 그리고 실험 2의 결과 비교

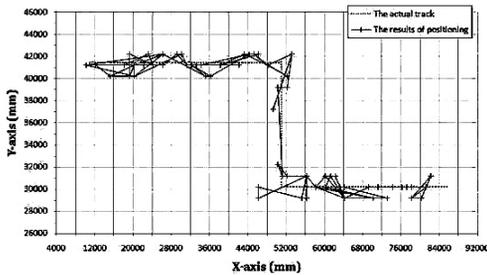
6. 제안하는 칼만필터 기반 추적 알고리즘

삼각측량 방법의 실험 결과로부터 이 방법은 오차가 매우 크다는 것을 알았다. 그래서 측정 오차가 적은 지문방식을 사용해야겠다는 결론을 얻었다. 측정 방법으로 지문 방식을 사용하면 측정 결과가 거리가 아닌 좌표가 된다. 따라서 거리를 좌표로 변환하는 과정이 필요 없게 됨으로 확장칼만필터가 아닌 칼만필터가 된다. 또한 벡터 x 의 크기도 4×1 이 되어야 하고 이에 따라 행렬 A, P, Q, R, K, H 의 크기도 조절된다. 예를 들어, 행렬 H

는 다음과 같은 값을 갖는다.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

측정 단계에서 K-NN 방법을 사용하는 칼만 필터 추적 방법의 성능을 분석하기 위하여 우선 1-NN 방법을 사용한 추적 실험을 수행하여 <그림 7>에 보이는 결과를 얻었으며, 이 궤적의 평균 오차는 3.37 m이다.



<그림 7> 실제 경로와 1-NN을 이용한 추적 결과

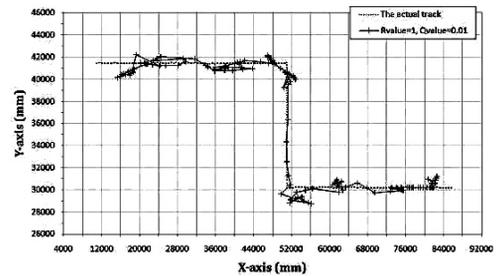
다음은 측정 단계에서 1-NN 방법을 사용하는 칼만 필터 방법 적용하여 사용자 추적 실험을 수행하였다. 이 실험에서는 <표 6>에 실험 3과 실험 4에 보이는 바와 같이 Q 값과 R 값의 비율을 달리하여 두 가지 실험을 하

<표 6> 실험 3과 4의 인수 값

Matrix Experiment	R_{value} : The values of diagonal entries of R	Q_{value} : The values of diagonal entries of Q
Experiment 3	1	0.01
Experiment 4	1	0.00001

였다.

실험 3의 결과가 <그림 8>에 보인다. <그림 8>에서 점선은 실제 경로를 나타내고 ‘+’ 기호는 실험 3의 결과를 나타낸다. 실험 3에서 얻은 궤적의 평균 오차는 2.54m이다.



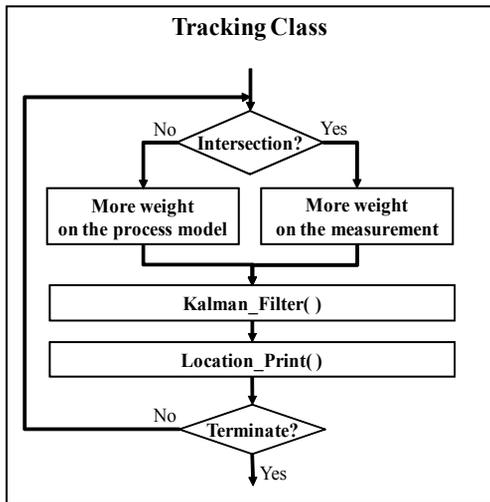
<그림 8> 실험 3의 결과

실험 4의 결과는 <그림 9>에 보이는 바와 같다. R_{value}/Q_{value} 의 비율이 실험 4에서 실험 3에서보다 훨씬 더 크다. 그래서 진행 방향이 바뀐 사실이 실험 4에서는 매우 더디게 반영됨을 알 수 있다. 그러나 직진 부분에서는 실험 4의 결과가 더 매끄러움을 알 수 있다.

실험 3과 실험 4의 결과로부터 사용자가 직진 경로와 같은 일정한 패턴을 따라 움직일 경우에는 실험 4의 인수 값이 실험 3의 인수 값보다 더 적당하지만 그 반대의 경우에는 실험 3의 인수 값이 더 적당하다는 결론을 도출할 수 있다. 사람은 일반적으로 목적지를 향하여 직진하는 성향이 있으므로, 경로의 진행 방향을 전환하는 경우는 갈림길에서 나타날 수 있다. 갈림길 정보는 추적프로그램 실행 이전에 이미 지도 정보를 통하여 알 수 있다. 예를 들어, <그림 4>의 실험 공간에는 갈림길이 네 곳에 있으며, 그 중 두 곳을 지정하는 정보는 다음과 같다.

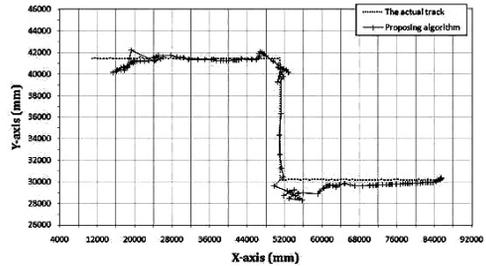
갈림길 1 : $48000 \leq x \leq 54000$ and $37000 \leq y \leq 42500$,
 갈림길 2 : $48000 \leq x \leq 54000$ and $29000 \leq y \leq 31500$.

이러한 현상을 감안하여 본 논문은 <그림 9>에 보인 바와 같이 갈림길 정보를 이용하여 다른 인수 값을 적용하는 확장칼만필터 기반 추적 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 지난 반복 실행에서 생성한 예측치를 참조하여 사용자의 현재 위치가 갈림길 지역 내인지를 판단하고, 갈림길 지역이면 측정치에 가중치를 두고 아니면 상태 모형에 가중치를 두도록 인수 값을 조절한다.



<그림 9> 제안하는 알고리즘을 묘사하는 흐름도

제안하는 알고리즘을 적용한 칼만 필터 방법의 실험 결과가 <그림 10>에 보인다. 이 실험에서 구한 경로의 평균 오차는 2.11m이다.



<그림 10> 제안하는 알고리즘으로 구한 경로와 실제 경로 비교

이상에서 보인 모든 실험들의 평균 오차를 <표 7>에 요약하였다. 실험 결과를 통하여 칼만 필터를 이용하면 더욱 정확한 경로를 얻을 수 있다는 결론을 얻었으며, 나아가서 지도정보를 이용하여 적당한 인수 값을 적용함으로써 칼만 필터의 정확도를 더욱 제고할 수 있다는 결론을 얻었다.

7. 결 론

본 연구에서는 무선근거리통신망 기반의 옥내 추적 확장칼만필터를 제안하였다. 제안한 방법은 Kotanen et al.[7]에 소개된 블루투스 기반 옥내 측위 방법을 변형한 것이며, 또

<표 7> 실험에서 얻은 경로 평균의 요약표

Experiment	1-NN	$R_{value} = 1,$ $Q_{value} = 0.01$	$R_{value} = 1,$ $Q_{value} = 0.00001$	지도정보를 이용한 제안 알고리즘
Error				
Average error	3.37m	2.54m	2.57m	2.11m

한 Wang et al.[12]에 소개된 K-NN 측위 기반 칼만필터 추적 방법을 변형한 것이다. 실험 결과를 분석한 결과 확장칼만방법의 오차가 매우 크다는 결론을 얻었다. 그래서 측정 단계에서 1-NN 방법을 사용하는 칼만 필터 방법을 사용하기로 하고, 지도의 갈림길 정보를 이용하여 필터의 인수에 적당한 값을 배정함으로써 추적의 정확도를 제고하는 방법을 제안하였다. 실험 결과, 칼만 필터를 사용하여 궤적의 정확도를 제고할 수 있음을 보였으며, 지도 정보를 이용함으로써 더욱 정확도를 개선할 수 있음을 알았다.

본 연구에서 제안한 추적 방법은 다양한 위치기반서비스에 적용될 수 있다. 예를 들어, 본 연구의 제안방법을 이용하여 대학 캠퍼스용 위치기반서비스 시스템을 개발할 수 있다. 이를 위해서는 현재 지도출력 프로그램이 C#으로 구현되어, 지도출력 프로그램과 추적 프로그램이 통합되어야 한다. 향후 통합 환경에서는 각종 지도 정보를 이용하여 추적 알고리즘의 정확도를 더욱 제고하는 방안이 고려될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 이대로, 이영재, 이은성, 남명룡, 이현우, “우리별 3호의 GPS 데이터를 이용하여 궤도요소 결정을 위한 확장 칼만필터의 응용”, The 7th GNSS Workshop (tutorial Domestic session), 2000, pp. 1-16.

[2] 임종환, 강철웅, “확장칼만필터를 이용한

무인잠수정의 3차원 위치평가”, 한국정밀공학회, 한국정밀공학회지, 제21권, 제7호, 2004, pp. 130-135.

[3] 정순기, 원광연, “계층적 칼만 필터를 이용한 관절을 가진 물체의 추적 및 운동 추정”, 한국정보과학회, 정보과학회논문지(A), 제23권, 제11호, 1996, pp. 1105-1117.

[4] 주해호, 이화조, 김석환, “칼만필터를 이용한 초대형 용접구조물의 용접선 추적에 관한 연구”, 한국정밀공학회, 한국정밀공학회지, 제17권, 제1호, 2000, pp. 45-51.

[5] Bahl, P. and V. Padmanabhan, “RADAR : An In-building RF-based User Location and Tracking System,” Proceeding of INFOCOM 2000, pp. 775-784.

[6] Harter, A. and A. Hopper, “A New Location Technique for the Active Office,” IEEE Personal Communications, Vol. 4, No. 5, 1997, pp. 43-47.

[7] Kotanen, A., M. Hannikainen, H. Leppakoski, and T. D. Hamalainen, “Experiments on Local Positioning with Bluetooth,” Proceedings of International Conference on Information Technology : Coding and Computing [Computers and Communications] (ITCC 2003), 2003, pp. 297-303.

[8] Lassabe, F., P. Canalda, P. Chatonnay, and F. Spies, “A Friis-based Calibrated Model for WiFi Terminals Positioning,” Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks(WoW-

- MoM 2005), 2005, pp. 382-387.
- [9] Madigan, D., E. Einahrawy, R. P. Martin, W. Ju, P. Krishnan, and A. S. Krishnakumar, "Bayesian Indoor Positioning Systems," Proceedings of the IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2005), 2005, pp. 1217-1227.
- [10] Priyanthat, N., A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System," Proc. of 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, MA., 2000.
- [11] Virrantaus, K., J. Markkula, A. Garmash, and Y. V. Terziyan, "Developing GIS-supported Location-based Services," Proc. Of WGIS 2001-First International Workshop on Web Geographical Information Systems, Kyoto, Japan, 2001, pp. 423-432.
- [12] Wang, H., H. Lenz, A. Szabo, J. Bamberger, U. D. Hanebeck, "WLAN-based Pedestrian Tracking Using Particle Filters and Low-cost MEMS Sensors," Proceedings of Positioning, Navigation and Communication(2007. WPNC 2007. 4th Workshop), 2007, pp. 1-7.
- [13] Wann, C. and M. Lin, "Data Fusion Methods for Accuracy Improvement in Wireless Location Systems," Proceeding of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC 2004), 2004, pp. 471-476.
- [14] Want, A., V. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, "The Active Badge Location System," ACM Transactions on Information Systems, Vol. 10, No. 1, 1992, pp. 91-102.
- [15] Youssef, M. and A. Agrawala, "Continuous Space Estimation for WLAN Location Determination Systems," Proceedings of 13th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN 2004), 2004, pp. 161-166.
- [16] Youssef, M., A. Agrawala, and A. U. Shankar, "WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions," Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications(PerCom), 2003, pp. 143-150.

저 자 소 개



임재걸
현재

(E-mail : yim@dongguk.ac.kr)

동국대학교(경주캠퍼스) 과학기술대학
컴퓨터멀티미디어학과 교수

동국대학교 공학사, 일리노이 주립대학교
컴퓨터과학 (석사, 박사)

관심분야

컴퓨터알고리즘, 위치기반서비스, 페트리 넷 이론 및 응용 등



주재훈
현재

(E-mail : givej@dongguk.ac.kr)

동국대학교(경주캠퍼스) 경영·관광대학 정보경영학과 교수
한국해양대학교 (공학사)

부산대학교 경영학석사, (경영학박사)

관심분야

시맨틱 웹, 온톨로지, 전자상거래, 지식경영 등



정승환
현재

(E-mail : honourj@dongguk.ac.kr)

동국대학교 전자계산학과 석사과정
동국대학교 (공학사)

관심분야

위치기반서비스, 유비쿼터스네트워크 등