

# 옥내 이동 물체 궤적의 통계적 검정

임재걸<sup>†</sup>, 심규박<sup>\*\*</sup>, 정승환<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

무선 근거리 통신망 환경의 측위 전략은 정확도는 떨어지지만 측위를 위한 특수 장비가 필요 없다는 점에서 매력이 있다. 본 논문은 무선 근거리 통신망 환경에서 옥내 이동 물체의 궤적을 의사 결정 트리 기법을 이용한 측위 방법으로 측정하고, 측정치가 실제 궤적과 다르지 않음을 통계적으로 검정함으로써 이렇게 얻은 궤적을 실제 응용 시스템 개발에 사용하여도 좋다는 이론적 근거를 제공한다.

## Stochastic Confidence Test on Indoor Moving Object's Tracks

Jae-Geol Yim<sup>†</sup>, Kyu-Bark Shim<sup>\*\*</sup>, Seung-Hwan Jeong<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

WLAN(wireless local area network)-based positioning is the most attractive because it does not require any special equipments dedicated for positioning even though it is less accurate than the other strategies. Applying our WLAN-based decision tree method for indoor positioning, we obtained pedestrian's tracks, and performed stochastic confidence tests on the tracks in order to validate them.

**Key words:** Stochastic Confidence Test(통계적 신뢰도 검정), Wireless LAN(무선 근거리 통신망), Indoor positioning(옥내 측위), RSSI(수신 신호 세기 지시자), Indoor tracking(옥내 궤적), Decision tree(의사 결정 트리)

## 1. 서 론

상황 인지 시스템은 사용자의 상황을 감안하여 알맞은 서비스를 제공하므로, 상황 인지 시스템은 서비스의 질을 현저하게 제고하여 준다. 사용자의 상황을 결정하는 중요한 요소 중 하나로 사용자의 위치를 들 수 있다. 그래서 사용자의 위치를 파악하는 기술에 대한 많은 연구 결과가 발표되었다. 사용자의 위치를 시간 순서대로 나열한 것을 궤적이라 하며, 궤적을 이용하면 측위의 정확성을 개선할 수도 있고 과거의 행적을 알 수도 있으므로 측위와 더불어 궤적에 대한 연구도 활발하다. 상황 인지 서비스의 대표

적인 예로 자동차 항법 시스템을 들 수 있다. 자동차 항법 시스템은 GPS(Global Positioning System)에 주로 의지하여 위치를 판단한다[1].

위치 기반 서비스는 실외에서만 유용한 것이 아니라 실내에서도 역시 매우 유용하다. 예를 들어 홈 자동화 시스템에서는 집 주인의 위치를 파악해야 주인이 필요로 하는 전등을 자동으로 켜 줄 수 있고, 집 주인의 궤적을 알고 있어야 적당한 문을 자동으로 열어줄 수 있다. 또 다른 예로 우리 안의 가족의 궤적을 바탕으로 가족의 건강상태를 체크하기, 건축 현장에서 건축 기사에게 프로젝트 계획, 도면, 스케줄, 예산 등의 정보를 상황에 맞게 제공하기 위한 유비쿼터

\* 교신저자(Corresponding Author) : 심규박, 주소 : 경북 경주시 석장동 707(780-714), 전화 : 054)770-2245, FAX : 054)770-2520, E-mail : shim@dongguk.ac.kr

접수일 : 2008년 7월 30일, 완료일 : 2008년 10월 7일

<sup>†</sup> 종신회원, 동국대학교 과학기술대학 컴퓨터멀티미디어학과 교수 (E-mail : yim@dongguk.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 정회원, 동국대학교 과학기술대학 정보통계학과 교수

<sup>\*\*\*</sup> 준회원, 동국대학교 대학원 전자계산학과 석사과정

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

\* 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-314-D00362)

스 환경의 측위 및 궤적 측정 시스템, 노인들의 안전을 모니터링하기 위한 센서 신호와 통신 신호를 이용한 옥내 궤적 시스템 등 옥내 측위 시스템의 용도는 무한하다[2-4].

그러나 GPS 신호는 옥내에서 잡히지 않기 때문에 옥외에서 사용하는 측위 방법을 그대로 옥내에서 사용하는 것은 불가능하다. 따라서 옥외 측위와는 매우 상이한 방법의 옥내 측위 방법에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 또한 많은 연구 결과가 발표되기도 하였다[5-18]. 액티브 배트 시스템에서는 이동 물체들에 적외선을 발사하는 송신기가 부착되어 있고, 방마다 여러 개의 수신기가 고정 지점에 설치되어 있다. 적외선은 벽을 통과하지 못하기 때문에 이동 물체가 어느 방에 들어오면 그 방에 설치된 고정 수신기들만 그 이동 물체의 적외선을 감지할 수 있으므로 이동 물체가 어느 방에 있는지 판정할 수 있다[5].

배트 시스템에서는 이동 물체에 부착된 송신기가 고주파 (RF: Radio frequency) 신호와 초음파 (Ultrasound)를 송신한다. 수신기들은 천정에 행렬 모양으로 고정되어 있다. 송신기가 고주파 신호와 초음파 신호를 동시에 송신하면, 수신기는 이 두 가지 신호가 도착한 시각의 차이를 바탕으로 송신기와 수신기 사이의 거리를 구한다. 수신기들은 모두 중앙컴퓨터에 연결되어 있어서 중앙컴퓨터는 수신기들의 좌표와 이동 물체와의 거리를 바탕으로 이동 물체의 정확한 위치를 판정한다[6,7].

크리켓 시스템에서는 액티브 배트나 배트와 반대로 이동 물체 자신이 자신의 위치를 계산한다. 크리켓도 배트와 마찬가지로 고주파 신호와 초음파 신호를 함께 사용하는데, 배트에서는 이동 물체에 부착된 송신기가 신호들을 송신한 반면, 크리켓에서는 고정 지점에 부착된 비컨(beacon)들이 고주파 신호와 초음파 신호를 동시에 송신하면 이동 물체에 부착된 수신기가 이 신호들을 수신하고, 신호들의 도착 시각의 차이를 바탕으로 거리들을 구하고, 비컨들의 좌표와 거리를 바탕으로 자신의 좌표를 구한다.

옥내 측위 방법 중 무선 근거리 통신망을 이용하는 방법은 측위를 위한 특수한 장비가 필요 없으므로 특별히 관심이 가는 방법이다. 무선 근거리 통신망을 이용하는 방법은 대부분 AP(Access Point)의 신호 세기를 사용한다. K-최근 이웃(K-NN : K-Nearest Neighbors) 방법은 후보 지점 중 신호 세기가 가장

비슷한 K 개를 찾아, 이들의 평균으로 현재 위치를 삼는다[16]. 무선 근거리 통신망 기반 옥내측위 방법과 GPS를 사용하는 야외 측위를 통합한 시스템도 개발된 바 있다[15]. 또한 옥내 측위에 의사 결정 트리를 사용하는 방법이 제안되기도 하였고, 측위 결과를 사용자에게 잘 보여주기 위한 지도 출력 모듈과 측위 모듈을 통합한 시스템, 칼만 필터를 이용한 측위 방법 등이 소개되었다[14,17,18].

무선 근거리 통신망 환경의 옥내 측위에 대한 연구는 많이 발표된 바 있는 반면에 옥내에서 보행자의 궤적을 측정하는 방법에 대한 연구는 별로 없다. 물론 옥내 로봇의 궤적에 대한 연구 결과는 무수히 발표된 바 있지만 로봇의 경우에는 바퀴의 회전수와 방향으로 속도를 구하고, 다양한 센서를 이용하여 위치를 구함으로 추가적인 장비를 사용하지 않는 무선 근거리 통신망 환경의 경우와는 사용되는 기술이 현저하게 다르다.

이동 물체의 궤적을 구하기 위한 측위의 경우에는 측정 오차뿐만 아니라 측정 시간 동안 이동하는 거리에 따른 오차까지 내재한다. 예를 들어, 시속 50km로 주행 중인 자동차의 경우에 매 30초마다 GPS를 이용한 측위 값을 사용할 경우, GPS 측정 오차는 약 10미터이지만 샘플링 오차는 약 150미터에 이른다[19].

이동 물체의 위치를 파악하거나, 유용한 정보를 추출하는데 이동 물체의 궤적이 매우 중요한 역할을 함으로 옥내 상황 인지 서비스 개발에 보행자의 궤적은 필수적이며, 측정된 궤적의 신뢰도 역시 중요한 구실을 한다.

따라서 본 연구는 무선 근거리 통신망 환경에서 옥내 이동 물체의 궤적을 의사 결정 트리 기법을 이용한 측위 방법으로 측정하고, 측정치가 실제 궤적과 다르지 않음을 통계적으로 검증함으로써 이렇게 얻은 궤적을 실제 응용 시스템 개발에 사용할 수 있다는 이론적 근거를 제공한다. 의사 결정 트리 기법을 이용하는 이유는 이동 물체가 측위를 위한 데이터 수신 시점부터 위치를 구하기 위한 데이터 처리 시간 동안에도 계속 움직임으로 데이터 처리 시간이 되도록 짧아야 하기 때문이다. 기존의 방법 중 정확도가 높으면서 데이터 처리 시간이 짧은 방법은 의사 결정 트리 방법이다[14].

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 관련연구로 [14]에 소개된 의사 결정 트리

방법을 살펴보고, 3절에서는 의사 결정 트리 방법의 타당성을 검증하기 위한 실험 데이터의 수집 방법을 설명하며, 4절에서는 수집 데이터를 통계적으로 분석한다. 그리고 5절에서 의사 결정 트리 방법으로 측정된 무선 근거리 통신망 기반의 옥내 이동 물체의 궤적이 실제 궤적을 나타낸다는 본 논문의 결론을 제시한다.

## 2. 관련 연구

본 연구는 의사 결정 트리를 이용하여 얻은 이동 물체의 궤적의 신뢰도를 통계적으로 검정하고자 한다. 궤적은 이동 물체의 위치를 시간 순으로 나열한 것임으로 본 연구는 측위와 깊은 관련이 있다. 옥내 측위 방법에 대한 다양한 연구 결과가 발표되었는데 본 연구에서는 [14]에 소개된 무선 근거리 통신망 환경의 의사 결정 트리 방법을 이용함으로 본 절에서는 이 방법을 소개한다.

의사 결정 트리 방법은 일종의 지문 방식이다. 지문 방식은 준비 단계(off-line phase)와 실시간 측정 단계(realtime phase)로 구성된다. 의사 결정 트리 방법의 준비 단계에서는 위치를 판정하기 위한 의사 결정 트리를 그림 1과 같이 구축하고, 실시간 측정 단계에서는 이동 물체의 현재 위치에서 채집한 데이터를 의사 결정 트리에 적용하여 현재 위치를 판정한다.

준비 단계에서 하는 일은 다음과 같다. 측위 소프트웨어가 적용되는 지리적 공간을 바둑판 모양으로 나누어 교점들을 후보 지점이라고 일컫고, 각 후보 지점에서 수신 신호 세기(RSSI:Received Signal Strength Indicator)를 측정하여 훈련 데이터라 칭한다. 각 후보 지점에서 일반적으로 3 개 이상의 AP(Access Point)들의 수신 신호 세기가 읽힘으로

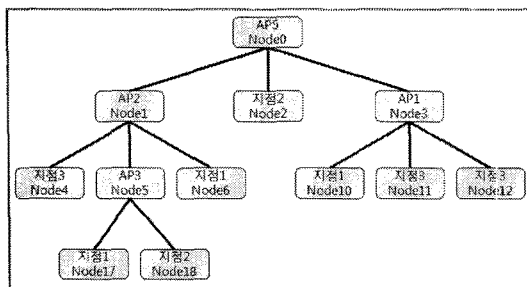


그림 1. 표 1에 대한 의사 결정 트리

표 1. 훈련 데이터를 이산화한 표의 예

| AP <sub>1</sub>       | AP <sub>2</sub>       | AP <sub>3</sub>       | AP <sub>4</sub>       | AP <sub>5</sub>       | Class |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| interval <sub>1</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>3</sub> | interval <sub>1</sub> | 지점1   |
| interval <sub>1</sub> | interval <sub>1</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>3</sub> | 지점1   |
| interval <sub>2</sub> | interval <sub>3</sub> | interval <sub>1</sub> | interval <sub>3</sub> | interval <sub>1</sub> | 지점1   |
| interval <sub>3</sub> | interval <sub>3</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>2</sub> | 지점2   |
| interval <sub>2</sub> | interval <sub>3</sub> | interval <sub>1</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>2</sub> | 지점2   |
| interval <sub>1</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>3</sub> | interval <sub>1</sub> | interval <sub>1</sub> | 지점2   |
| interval <sub>1</sub> | interval <sub>1</sub> | interval <sub>1</sub> | interval <sub>3</sub> | interval <sub>1</sub> | 지점3   |
| interval <sub>2</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>2</sub> | interval <sub>3</sub> | 지점3   |
| interval <sub>3</sub> | interval <sub>1</sub> | interval <sub>1</sub> | interval <sub>3</sub> | interval <sub>3</sub> | 지점3   |

한 훈련 데이터는 3개 이상의 수신 신호 세기로 구성된다. 각 후보 지점에서 100개 이상의 훈련 데이터를 수집하여 표를 작성한다. 그리고 훈련 데이터의 수신 신호 세기 값들을 표 1과 같이 급간격으로 이산화한다.

그리고 훈련 데이터에 그림 2에 보이는 알고리즘을 적용하여 의사 결정 트리를 구축한다. 그림에서 정보량 구하기는 식 1을 적용하여, 훈련 데이터를 후보 지점별로 나누는데 필요한 예상 정보량인 I를 구한다.

$$I(s_1, s_2, \dots, s_m) = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

단, m은 후보 지점의 수, S는 훈련 데이터의 수, s<sub>i</sub>는 후보 지점 CP<sub>i</sub>의 훈련 데이터의 수, 그리고 p<sub>i</sub> = s<sub>i</sub>/S 이다.

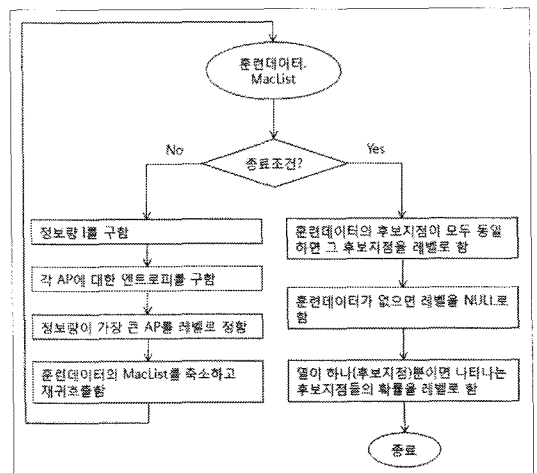


그림 2. 의사 결정 트리 작성 알고리즘

알고리즘에서 엔트로피 구하기는 훈련 데이터를  $k$ 번째 AP의 신호 세기를 기준으로 구분한 결과를 분류하는데 필요한 예상 정보량을 계산한다.  $AP_k$ 가 다음과 같이  $v$ (급간격의 수) 가지의 값을 갖는다고 하자.

$$\{a_1, a_2, \dots, a_v\}$$

$S_j$ 는  $S$ 를 구성하는 행 중,  $AP_k$ 의 값이  $a_j$ 인 행들의 집합이다. 부분집합  $S_j$ 에서 후보 지점  $CP_i$ 의 행의 수를  $s_{ij}$ 라 하자. 그러면, 엔트로피  $E(AP_k)$ 는 식 2로 구한다.

$$E(AP_k) = \sum_{j=1}^v \frac{s_{ij} + \dots + s_{mj}}{s} I(s_{ij}, \dots, s_{mj}) \quad (2)$$

알고리즘에서 정보 이득 구하기는 식 3으로 정보 이득  $G(AP_k)$ 를 구한다.

$$Gain(AP_k) = I(s_1, s_2, \dots, s_m) - E(AP_k) \quad (3)$$

그림 2의 알고리즘은 정보 이득이 가장 큰  $AP_k$ 를 선택하여 훈련 데이터를 분류하는 작업을 더 이상 분류가 되지 않을 때까지 반복한다.

실시간 측정 단계에서는 현 시점에서 각 AP의 수신 신호 세기를 판독하여 준비 단계에서 구축한 의사 결정 트리를 참조하여 현재 위치를 판정한다. 현재 위치 판정 알고리즘은 그림 3에 보인다.

준비 단계는 알고리즘 실행 시간이 중요한 요인이 아니지만, 실시간 측정 단계는 보행자가 계속 움직이기 때문에 실행 시간이 짧아야 한다. 급간격의 수를  $I$ , AP의 수를  $N$ , 그리고 후보 지점의 수를  $M$ 이라

하면, 의사 결정 트리 방법의 실시간 단계의 시간 복잡도는  $O(I * M)$ 이다. 이에 반하여 기존의  $K$ -NN 방법은  $O(N * M)$ 이고, 베이시안 방법은  $O(I * N * M)$ 이다[9]. 실제 상황에서  $I$ 는 5와 같이 작은 수이지만  $M$ 은 수백 혹은 수천에 이르는 큰 수임으로 의사 결정 트리 방법의 실시간 실행 시간이 빠름을 알 수 있다.

### 3. 실험

본 연 본 절은 무선 근거리 통신망 환경에서 의사 결정 트리의 측위 방법을 이용하여 측정된 궤적의 신뢰도를 검증하기 위하여 측위시스템을 구현하고 실험을 수행한 결과를 소개한다.

#### 3.1 측위 모듈 구현

의사 결정 트리를 이용한 측위 프로그램을 노트북 컴퓨터에 구현하였다. 프로그램 개발 도구로는 Microsoft Visual Studio 2005의 C# 언어를 이용한다. 실험에 사용된 노트북 컴퓨터에는 무선 랜 카드(Intel(R) PRO/Wireless 2200BG Network Connection)가 장착되어 있다. 주변에 설치된 AP들이 SSID, BSSID, RSSI, 네트워크 유형 등의 정보를 브로드캐스트하면, 이 무선 랜 카드를 통해 정보들을 캐치하여 실험에 필요한 특징 데이터(신호 세기)를 얻는다. 이때 [16]에 소개된 신호 세기를 측정하는 수신 신호 세기 판독 라이브러리 함수를 사용한다.

본 실험을 위하여 구현한 프로그램의 이벤트 흐름도는 그림 4와 같다. 준비 단계 때 훈련 데이터 테이블을 작성하기 위해서는 실제 후보 지점으로 이동한 후 지도정보가 출력된 박스에서 해당 위치를 클릭하면 된다. 이 경우 그림 4의 이벤트 흐름도에 보이는 것처럼 현재 위치에서 수신 신호 세기를 측정하여 표(table)에 추가하게 된다. 모든 후보 지점 각각에서 측정한 수신 신호 세기 값들이 모두 표에 적재되면 준비 단계는 완료된 것이며, 이 표가 훈련 데이터가 되는 것이다.

그림 5는 이 프로그램의 실행 화면으로, 실험 장소의 지도정보가 저장된 DXF 카드 파일을 읽어서 화면에 출력하고 있으며, 출력 화면은 확대, 축소 및 이동될 수 있다[17].

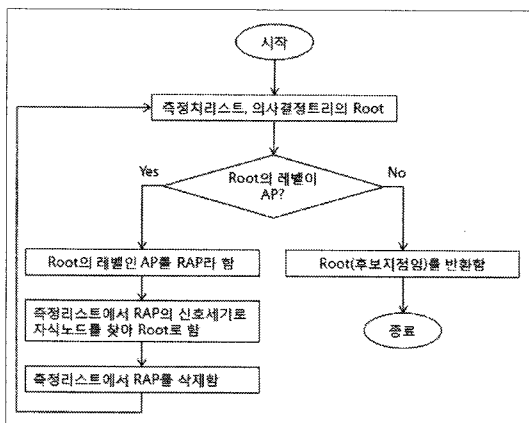


그림 3. 위치 판정 알고리즘

### 3.2 실험결과

실험은 그림 6에 보이는 자연과학관 4층에서 실시하였다. 여기에는 총 8개의 AP가 '★'로 표시된 지점에 설치되어 있으며, 실제 실험에 사용된 AP는 3층과 5층을 포함하여 실험 지역에서 신호 세기가 측정되는 총 14대를 대상으로 하였다.

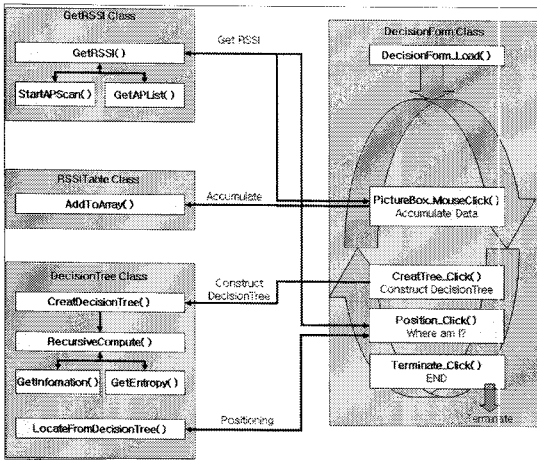


그림 4. 측위 프로그램의 이벤트 흐름도

그림 7에 보이는 후보 지점들은 중앙 복도에서 1m 간격으로 선정하였고, 준비 단계에서 각각의 지점에 대하여 신호 세기를 130회씩 측정하여 훈련 데이터를 작성하였다.

자연과학관 4층의 중앙 복도 영역에서 준비 단계 때 후보 지점별로 미리 측정된 훈련 데이터를 10개의 급간격으로 이산화하여 의사 결정 트리를 생성한 결과의 일부가 그림 8에 보인다.

이 의사 결정 트리를 가지고 실시간 단계 때 그림 9에 보이는 실제궤적을 따라 걸어가면서 1초 간격으

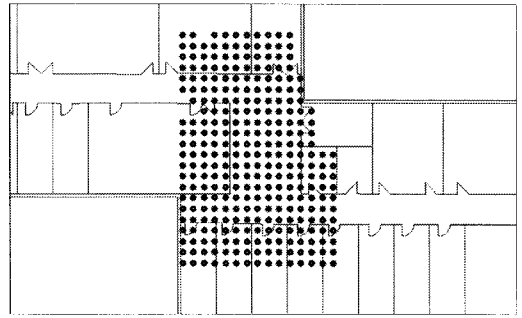


그림 7. 실험에 적용된 후보 지점들

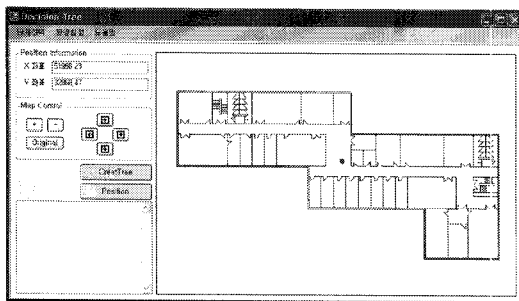


그림 5. 측위 프로그램의 실행 화면

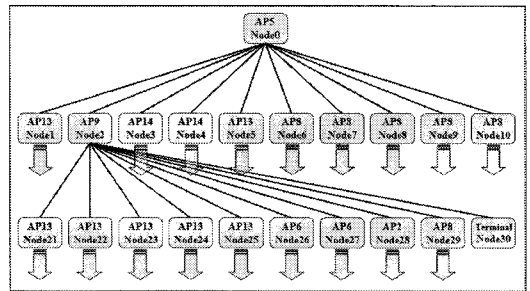


그림 8. 실제 구축한 의사 결정 트리의 일부

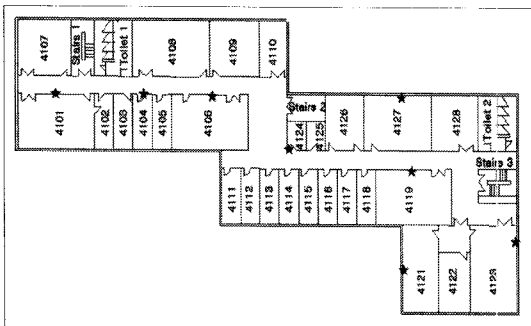


그림 6. 테스트 베드인 자연과학관 4층

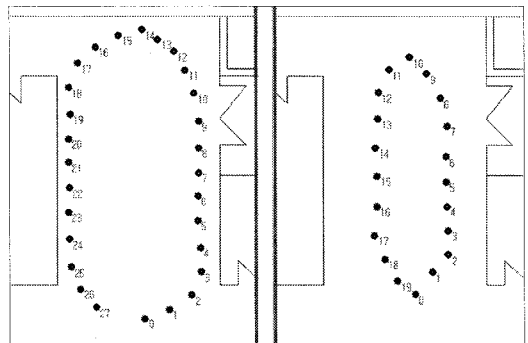


그림 9. 실험에 사용된 보행자의 실제 궤적

로 신호 세기를 측정하여 현재 위치를 판정하는 실험을 하였다. 실험은 그림 9의 왼쪽에 보이는 큰 원과 오른쪽에 보이는 작은 원에 대하여 각각 30회씩 수행하였다.

그림 8은 생성된 의사 결정 트리를 도식화한 것으로 트리의 루트에 해당하는 노드를 보면, 이 루트 노드의 레벨은 AP5에 해당하는 MacAddress가 저장되어 있고 루트 노드가 포인트하고 있는 자식 노드들은 10개임을 알 수 있다. 여기서 자식 노드가 10개인 이유는 의사 결정 트리를 생성할 때 AP5의 신호 세기를 이산화할 때 급간격 수를 10개로 하였기 때문이다. 그리고 AP9 노드가 가리키고 있는 노드들 중 10번째 그룹에 속하는 노드는 단말노드이다. 즉, 이 단말노드는 더 이상 자식노드를 생성하지 않으며, 단말노드의 레벨에는 단일 후보 지점의 정보 또는 부모노드가 가질 수 있는 후보 지점들을 비율로 변환한 정보가 저장된다.

그림 10은 그림 7의 두 케적 중 큰 타원을 따라 걸어가면서 얻은 실험 결과이고, 그림 11은 작은 타원을 따라 걸어가면서 얻은 실험 결과이다.

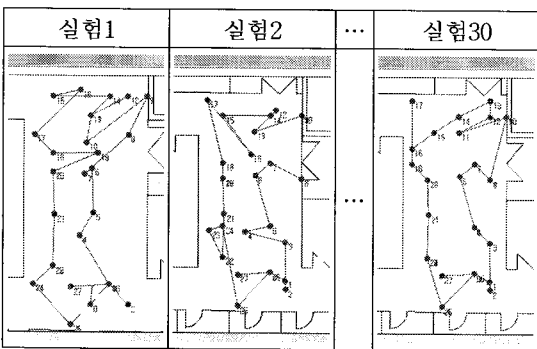


그림 10. 큰 원을 따라 걸어가며 실험한 결과

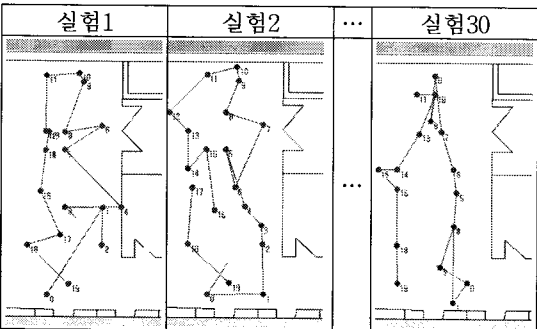


그림 11. 작은 원을 따라 걸어가며 실험한 결과

#### 4. 실험결과 분석

##### 4.1 타원의 방정식

평면에서의 점  $P = (x_1, x_2)$  가 주어질 때 이 점의 원점  $O = (0, 0)$  으로부터의 거리  $d(O, P)$  는 피타고라스의 정리를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d(O, P) = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4)$$

따라서 원점으로 부터  $c$  만큼 떨어진 모든 점은 다음 식을 만족한다.

$$d^2(O, P) = x^2 + y^2 = c^2 \quad (5)$$

식 5는 초구면체에 대한 방정식이므로 원점으로 부터 동일한 거리에 있는 모든 점은 이 초구면체의 표면에 놓이게 된다. 식 5로 표시된 유클리드 거리는 각 점의 좌표축의 길이가 거리를 정의하는데 동일한 정도의 영향을 미치므로 좌표축 상의 점들이 확률변수여서 서로 다른 정도의 영향을 미칠 경우 두 점 사이의 거리를 나타내는 식으로 적절하지 않다. 이 경우에는 변동이 큰 좌표축에는 적은 가중치를 주고 변동이 적은 좌표축에는 큰 가중치를 주는 방법을 고려하여야 한다. 이와 같이 변수들의 변동이 서로 다르다는 것과 변수들 사이에 상관관계가 있다는 사실을 고려한 것이 통계적 거리(statistical distance)이다.

통계적 거리는 각 좌표축에서의 변동을 고려하므로 유클리드거리에 사용된 각각의 변수들에 대해 원점에서의 거리를 나눈 값을 새로운 좌표축으로 사용할 수 있다. 예를 들어, 2차원 2차원 좌표축을 이용할 경우, 새로운 좌표점은 각각  $\tilde{x} = x/a$ ,  $\tilde{y} = y/b$  이 되어,  $P = (x, y)$  와 원점  $O = (0, 0)$  사이의 통계적 거리는 다음과 같다.

$$d(O, P) = \sqrt{(\tilde{x})^2 + (\tilde{y})^2} \quad (6)$$

식 (6)은 식 (4)의 유클리드거리에 각각  $1/a^2, 1/b^2$  을 가중치로 곱하여 얻은 값이므로, 만약  $x$  축의 방향의 변동과  $y$  축의 방향의 변동이 같고 서로 독립이라면 유클리드거리와 통계적 거리는 같아진다. 식 (5)를 이용하여  $(x, y)$  좌표 상에 있고 원점으로부터의 거리의 제곱이 1인 모든 점에 관한 방정식을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{x_1^2}{a^2} + \frac{x_2^2}{b^2} = 1 \quad (7)$$

### 4.2 Hotelling's $T^2$ 검증

단일변량의 분석에서 모집단 평균( $\mu$ )과 표본의 평균( $\mu_0$ )이 같은가에 대한 가설검정은 귀무가설(null hypothesis)  $H_0: \mu = \mu_0$ 와 대립가설(alternative hypothesis)  $H_1: \mu \neq \mu_0$ 를 검증하는 것으로써 검증 통계량은  $t = \frac{(\bar{X} - \mu_0)}{s/\sqrt{n}}$ 이다. 여기서,  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ 로써 표본평균을 나타내고,  $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ 로써 표본분산을 나타낸다. 모집단 자료의 분포는 정규분포임을 가정하나 표본의 크기가 일정 개수 이상이면 모집단 분포의 종류에 관계없이 표본평균의 분포를 정규분포라 가정할 수 있다.

그러나, 취득한 자료가 2차원 이상의 공간에서 취득한 자료일 경우 위의 단일변량분석 방법을 이용할 수 없다. 무선 근거리 통신망 기반 의사 결정 트리 측위 방법에 의해 취득한 2차원 공간상의 두 점의 위치가 유사한가의 여부는 Hotelling's  $T^2$  검정을 이용하여 판단할 수 있다. 2차원 X-Y 좌표 상에서 얻은 점들의  $n$ 개의 쌍을 가진 벡터 값이 다음과 같다고 하자.

$$m = \begin{pmatrix} x_{11} & y_{11} \\ x_{12} & y_{12} \\ \dots & \dots \\ x_{1n} & y_{1n} \end{pmatrix}, n = \begin{pmatrix} x_{21} & y_{21} \\ x_{22} & y_{22} \\ \dots & \dots \\ x_{2n} & y_{2n} \end{pmatrix} \quad (8)$$

여기서 벡터  $m$ 의 값들은 측위 전에 미리 표시해 둔 값이고, 벡터  $n$ 의 값은 측위에 의해 취득한 자료라 하자. 이 때 단일변량 가설검정에서 모집단 모수에 해당하는 벡터  $m$ 과 표본자료에 해당하는 벡터  $n$ 의 유사성 여부를 검증하기 위한 절차는 다음과 같다.

우선 귀무가설  $H_0$ 와 대립가설  $H_1$ 을 각각 다음과 같이 설정하자.

- $H_0$ :  $m$ 과  $n$ 의 좌표상의 위치는 다르지 않다. (9)
- $H_1$ :  $m$ 과  $n$ 의 좌표상의 위치는 다르다.

가설 (9)를 검증하기 위한 검증통계량은 단일변량의 가설검정에서 사용한 검증통계량  $t = \frac{(\bar{X} - \mu_0)}{s/\sqrt{n}}$ 을 이용하여 유도할 수 있는데 다음과 같다.

$$T^2 = (\bar{n} - \bar{m})^T (S/n)^{-1} (\bar{n} - \bar{m}) = n(\bar{n} - \bar{m})^T S^{-1} (\bar{n} - \bar{m}) \quad (10)$$

여기서,  $\bar{m}$ 와  $\bar{n}$ 는 각각 벡터  $m$ 과  $n$ 의 평균이며,

행렬  $S$ 는 다음과 같다.

$$S = \frac{n^T n}{n-1} - \frac{n}{n-1} (\bar{n}^T \bar{n}) \quad (11)$$

이다. 만약 검증통계량 식 (10)이

$$T^2 = (\bar{n} - \bar{m})^T (S/n)^{-1} (\bar{n} - \bar{m}) > \frac{2(n-1)}{n-2} F_{2, n-2}(\alpha) \quad (12)$$

을 만족하면, 유의수준  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) 아래서 귀무가설  $H_0$ 를 기각하게 된다. 여기서,  $F_{2, n-2}$ 는 자유도(degree of freedom)가 (2,  $n-2$ )인  $F$ 분포이다.

### 4.3 실험결과분석

그림 12는 그림 9의 작은 타원을 따라 걸어가면서 궤적을 측정하는 실험을 30회 실시한 결과의 평균으로 구한 궤적이다.

그림 9의 작은 타원의 근사방정식을 구하기 위해 좌표 점들을 유사한 위치에 따라 <점2~점7>, <점12~점17>, <점1, 점19, 점20> 및 <점8, 점10, 점11>의 4개 그룹으로 나눈 후, 각 그룹의 평균 위치점을 지나는 타원의 방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{x}{(3730)^2} + \frac{y^2}{(2182)^2} = 1$$

이 자료를 이용하여 그림 9의 좌표 벡터값과 그림 12의 좌표 벡터값이 유사한가의 여부를 알아보기 위해 Hotelling's  $T^2$  검정을 실시하여 보았다. 귀무가설  $H_0$ 와 대립가설  $H_1$ 을 각각 다음과 같이 설정하자.

- $H_0$ : 그림 9와 그림 12의 좌표상의 위치는 다르지 않다.
- $H_1$ : 그림 9와 그림 12의 좌표상의 위치는 다르다.

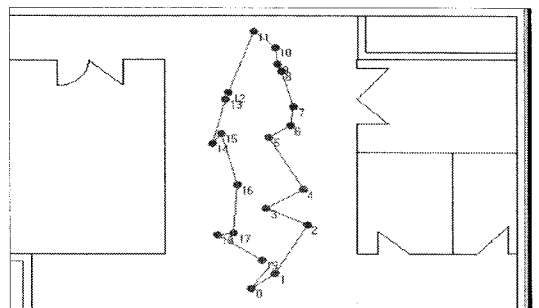


그림 12. 그림 9 실험 결과의 평균

식 (10)을 이용하여 검정통계량  $T^2 = 2.3280$ 을 구할 수 있으며, 이 값은  $n=20$ , 유의수준  $\alpha=0.05$  하에서 구한 임계점  $\frac{2(20-1)}{20-2}F_{2,20-2}(0.05) = 7.5040$ 보다 작은 값이므로 귀무가설  $H_0$ 를 기각할 수 없다. 따라서 그림 9와 그림 12의 좌표상의 위치는 유의수준  $\alpha=0.05$  하에서 다르지 않다고 할 수 있다.

이번에는 그림 13에 보이는 직선모양의 실제 궤적을 따라 걷는 실험을 하였다. 그림 14는 그림 13의 실제 궤적을 걸어가면서 궤적의 측정값을 구하는 실험을 30번 실행한 후, 측정값의 평균 지점을 표시한 그림이다. 그림 13의 좌표 벡터값과 그림 14의 좌표 벡터값이 유사한가의 여부를 알아보기 위해

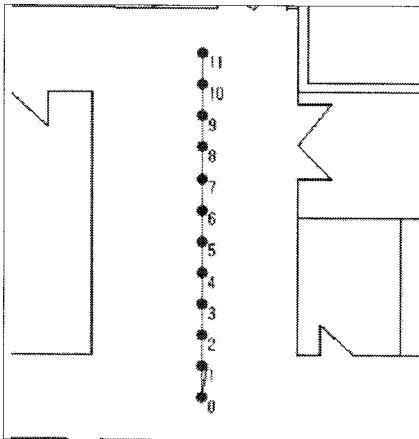


그림 13. 직선 실제 궤적

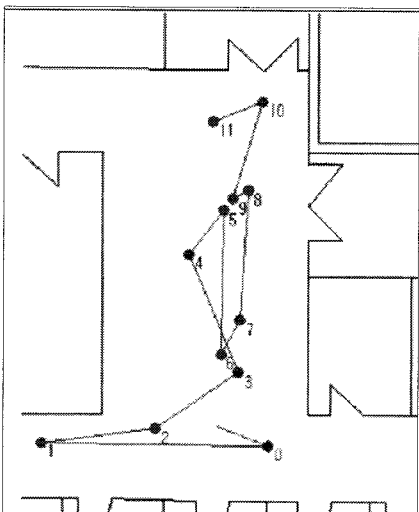


그림 14. 그림 13의 실험치의 평균값

Hotelling's  $T^2$  검정을 실시하여 보았다. 귀무가설  $H_0$ 와 대립가설  $H_1$ 를 각각 다음과 같이 설정하자.

$H_0$  : 그림 13과 그림 14의 좌표상의 위치는 다르지 않다.

$H_1$  : 그림 13과 그림 14의 좌표상의 위치는 다르다.

식 (10)을 이용하여 검정통계량  $T^2 = 0.0081$ 을 구할 수 있으며, 이 값은  $n=12$ , 유의수준  $\alpha=0.05$  하에서 구한 임계점  $\frac{2(12-1)}{12-2}F_{2,12-2}(0.05) = 9.0262$ 보다 작은 값이므로 귀무가설  $H_0$ 를 기각할 수 없다. 따라서 그림 13과 그림 14의 좌표상의 위치는 유의수준  $\alpha=0.05$  하에서 다르지 않다고 할 수 있다.

#### 4.4 실용화 방안

실험 결과, 의사 결정 트리 방법으로 측정된 일련의 위치가 실제 보행자의 궤적을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 이를 이용하여 옥내 보행자를 위한 위치 기반서비스 시스템 구현이 가능하다. 예를 들어, 코엑스와 같은 대형 박람회장에서 관람객에게 관람객의 현재 위치를 실시간으로 판단하여 현재 상황과 관계가 깊은 정보를 실시간으로 제공하거나 관람객이 원하는 장소를 현재 위치에서 어떻게 갈 수 있는지 인도하여 줄 수 있다.

이러한 옥내 위치기반서비스를 구현하려면 그림 7처럼 서비스 영역에 격자 모양의 가상의 점을 1미터 단위로 찍고 이들을 후보 지점이라 한 후, 각각의 후보 지점에서 약 100번 정도 AP의 신호 세기를 측정하여 훈련 데이터를 작성한다. 그리고 그림 2의 알고리즘을 훈련 데이터에 적용하여 그림 8과 같은 의사 결정 트리를 작성하여 보행자의 단말기에 심어 놓는다. 그러면 그림 3의 알고리즘을 실행하여 보행자의 단말기가 자신의 현재 위치의 좌표를 판정하여 준다. 그러면 전자 지도를 참조하여 현재 위치의 주변 상황을 판단하고 관계가 깊은 정보를 능동적으로 찾아 주거나, 사용자가 원하는 정보를 현재 위치를 기준으로 제공하여 주는 위치 기반 서비스가 가능하게 된다.

#### 5. 결 론

본 논문은 무선 근거리 통신망 환경에서 의사 결



정 트리 방법으로 이동 물체의 궤적을 구한 결과를 실제 응용에 적용하여도 타당한지를 보이기 위한 통계적 검정 결과를 소개하였다.

통계적 검정을 위하여 타원 모양의 궤적(큰 타원과 작은 타원)과 직선 모양의 궤적 각각을 걸으면서 궤적의 측정치를 얻었고, 실제 궤적과 측정치에 Hotelling's  $T^2$  검정을 실시한 결과, 타원 모양의 경우에는 검정 통계량  $T^2 = 2.3280$ 을 구할 수 있으며, 이 값은  $n = 20$ , 유의 수준  $\alpha = 0.05$  하에서 구한 임계점 7.5040보다 작은 값이므로 귀무가설  $H_0$ 를 기각할 수 없었고, 직선의 경우에는 검정 통계량  $T^2 = 0.0081$ 을 구할 수 있으며, 이 값은  $n = 12$ , 유의 수준  $\alpha = 0.05$  하에서 구한 임계점 9.0262보다 작은 값이므로 귀무가설  $H_0$ 를 기각할 수 없다. 결국 두 가지 경우 모두 실제 궤적과 측정치는 다르지 않다는 결론을 얻었다.

향후에는 무선 근거리 통신망 환경에서 의사 결정 트리 방법으로 이동 물체의 궤적을 얻는 방법을 이용하여 실제 응용 시스템을 구축하는 기술을 개발할 예정이다.

### 참 고 문 헌

[ 1 ] 주재순, 염경환, 이상정, “GPS/ GLONASS 통합 수신용 RF 전단부의 설계 및 제작,” *정보과학회논문지*, 제12권 4호, pp. 1226-2285, 2001.

[ 2 ] A. Huhtala, K. Suhonen, P. Makela, M. Hokojarvi, and J. Ahokas, “Evaluation of Instrumentation for Cow Positioning and Tracking,” *Biosystems Engineering*, Vol.96, Issue 3, pp. 399-405, 2007.

[ 3 ] A. Behzadan, Z. Aziz, C. Anumba, and V. Kamat, “Ubiquitous Location Tracking for Context-specific Information Delivery on Construction Sites,” *Automation in Construction*, Vol. 17 Issue 6, pp. 737-748, 2008.

[ 4 ] M. Nam, M. Al-Sabbagh, J. Kim, M. Yoon, C. Lee, and F. Ha, “A Real-Time Ubiquitous System for Assisted Living: Combined Scheduling of Sensing and Communication for Real-Time Tracking,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol.57 Issue 6, pp. 795-808, 2008.

[ 5 ] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons,

“The Active Badge Location System,” *ACM Transactions on Information Systems*, Vol.10, No.1, pp. 91-102, 1992.

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

[ 7 ] A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward, and P. Webster, “The Anatomy of a Context-Aware Application,” *Wireless Networks*, Vol.8, No.3, pp. 187-197, 2002.

[ 8 ] N. Priyanthat, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, “The Cricket Location -Support System,” *Proc. of 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, Boston, MA, pp. 32-43, 2000.

[ 9 ] P. Bahl and V. Padmanabhan, “RADAR:An in-building RF-based user location and tracking system,” *INFOCOM 2000*, pp. 775-784, 2000.

[10] F. Lassabe, P. Canalda, P. Chatonnay, and F. Spies, “A Friis-based calibrated model for WiFi terminals positioning,” *Sixth IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks*, pp. 382-387, 2005.

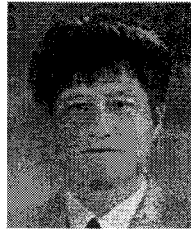
[11] T.N. Lin and P.C. Lin, “Performance Comparison of Indoor Positioning Techniques based on Location Fingerprinting in Wireless Networks,” *Proceedings of the 2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, Vol.2, pp. 1569-1574, 2005.

[12] M. Youssef, A. Agrawala, and A.U. Shankar, “WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions,” *Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp. 143-150, 2003.

[13] P. Prasithsangaree, P. Krishnamurthy, and P. Chrysanthis, “On indoor position location with wireless LANs,” *The 13th IEEE International*

*Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Vol.2, pp. 720-724, 2002.

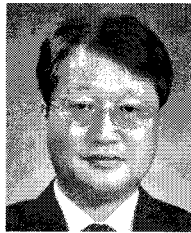
- [14] J. Yim, "Introducing a Decision Tree-based Indoor Positioning Technique," *Expert Systems with Applications*, Vol.34, Issue 2, pp. 1296-1302, 2008.
- [15] 임재걸, 이계영, 심규박, "옥내외 겸용 측위 방법," *멀티미디어학회논문지*, 제9권 9호, pp. 1222-1230, 2006.
- [16] 임재걸, 심규박, 정승환, "RSSI 판독 라이브러리 함수 및 옥내 측위 모듈 구현," *멀티미디어학회논문지*, 제10권 11호, pp. 1483-1495, 2007.
- [17] 임재걸, 주재훈, 정승환, "위치기반서비스를 위한 지도정보가 반영된 옥내측위 통합 시스템," *한국정보시스템학회*, 17권 1호, pp. 131-154, 2008.
- [18] 임재걸, 박찬식, 주재훈, 정승환, "Wi-Fi 기반 옥내측위를 위한 확장칼만필터 방법," *Journal of Information Technology Applications and Management*, Vol.15 No.2, pp. 51-65, 2008.
- [19] C. Wenk, R. Salas, and D. Pfoser, "Addressing the Need for Map-Matching Speed: Localizing Global Curve-Matching Algorithms," *18th International Conference on Scientific and Statistical Database Management*, pp. 379-388, 2006.



**임 재 걸**

1981년 동국대학교 전자계산학과 졸업  
 1987년 일리노이대학교 시카고 캠퍼스 컴퓨터과학 석사  
 1990년 일리노이대학교 시카고 캠퍼스 컴퓨터과학 박사  
 1992년~현재 동국대학교 과학

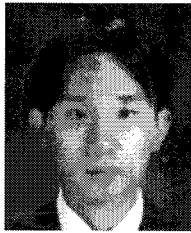
기술대학 컴퓨터멀티미디어학과 교수  
 관심분야: 시스템 설계 및 분석, 인공지능, 페트리 넷 이론 및 응용.



**심 규 박**

1986년 동국대학교 대학원 통계학과 이학석사  
 1993년 동국대학교 대학원 통계학과 이학박사  
 1994년~현재 동국대학교 과학기술대학 정보통계학과 교수

관심분야: 전산통계, 신뢰도검정, 통계 자료분석.



**정 승 환**

2007년 동국대학교 컴퓨터학과 졸업  
 2007년~현재 동국대학교 대학원 전자계산학과 석사과정 재학중  
 관심분야 : LBS, GIS, 802.11 표준