

무선랜 기반 실내 위치 측위 시스템

Indoor Positioning System based on WLAN

한 호 연

남 두 희

(한성대학교 정보시스템공학과 석사과정) (한성대학교 정보시스템공학과 교수)

Key Words : WLAN, Wireless, Indoor positioning, Location

목 차

I. 서론

II. 실내 위치 측위 방법

2.1 관련 연구

2.2 삼각측량법

2.3 Fingerprinting

III. 실내 위치 측위 과정 및 실험

3.1 셀 분할 과정

3.2 신호 데이터 수집 과정

3.3 위치 측위 과정

3.4 실험 결과 및 분석

IV. 결론 및 향후 연구 방향

I. 서론

유비쿼터스(Ubiquitous) 라는 시대적 흐름에 따라 상황(Context)을 고려한 응용 서비스들에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 서비스들은 대부분 사용자의 현재 위치정보를 기반으로 하는 위치기반서비스(LBS : Location Based Service)의 형태를 띠고 있다. 차량 네비게이션, 주변 시설물 정보 제공 서비스 등과 같은 위치 기반 서비스들은 대부분 사용자의 현재 위치 정보에 기반하고 있어 보다 정확한 위치 측정을 요구하고 있다.

최근에는 실외를 대상으로 하는 서비스 뿐 만 아니라 홈서비스, 대형 건물 안내 서비스와 같은 실내를 중심으로 하는 서비스가 각광을 받고 있다. 특히 장애인이나 노약자 등과 같은 사회적 약자에 대한 관심이 늘어남에 따라 승강기 및 편의 시설 안내에 대한 필요성이 증대되고 있다. 이러한 실내 서비스 역시 대부분 실외 서비스와 동일하게 현재 사용자의 위치를 기반으로 하고 있기 때문에 정확하고 효율적인 실내 위치 측위 방법이 필요한 실정이다.

지난 몇 년 동안 사용자의 위치를 추적하는 여러 방법들이 제안되었다. 최근 가장 많이 쓰이고 있는 GPS(Global Positioning System)를 비롯해 지상파, 적외선, RFID(Radio Frequency Identification), 지그비(ZigBee)에 이르기까지 여러 측위 수단과 세부적인 내용들이 활발하게 연구되고 있다. 하지만 이러한 위치 측위 기술들은 대부분 실외에서만 사용할 수 있거나 실내에서 사용할 수 있더라도 추가적으로 많은 장비 및

설치비용이 필요한 단점을 가지고 있다.

이에 반해 최근 새로운 실내 위치 측위 방법으로 무선랜(WLAN : Wireless Local Area Network)을 사용하는 방법이 대두되고 있다. 무선랜은 현재 가장 널리 쓰이고 있는 무선 통신 방식 중 하나로 이미 여러 분야에서 안정성이 검증되어 있다. 곳곳에 설치되어 있는 무선 인터넷 망을 활용하여 실내 위치를 식별하기 때문에 적은 비용으로도 시스템을 구축할 수 있으며 외부 인터넷 연결이 용이한 AP(Access Point)를 활용하기 때문에 위치 측정과 동시에 인터넷 통신도 사용할 수 있다. 위치 측정 수단으로 무선랜 신호 전파의 신호 강도(Signal Strength), 도착 시간 차(TDOA, Time Difference Of Arrival), AOA(Angle Of Arrival) 등을 사용하며 약 5m 정도의 오차 범위로 정확한 위치 측정이 가능하다.

본 논문에서는 무선랜을 이용한 효율적인 실내 위치 측위 방법과 시스템 구축 방법 및 시스템 성능 향상에 필요한 몇 가지 새로운 방법을 제안한다. 먼저 2장에서는 관련 연구 사례와 일반적인 무선랜 위치 측위 시스템에서 사용하고 있는 두 가지 측위 방법론에 대하여 설명하고 그들에 대한 장단점을 살펴볼 것이다. 3장에서는 실제 구축된 시스템을 사례로 들어 대략적인 시스템 구조 및 구체적인 구축 방법과 위치 측정 실험 결과를 제시한다. 끝으로 4장에서 향후 보완 사항 및 연구 방향에 대하여 알아본다.

II. 무선랜 실내 위치 측위 방법

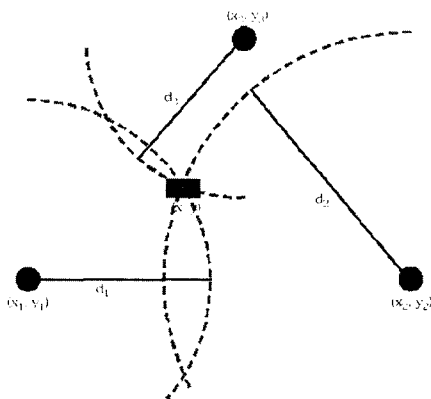
2.1. 관련 연구

최근 미국, 유럽 등 많은 국가에서 무선랜 실내 위치 측위에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 Intel사에서 진행 중인 PlaceLab 프로젝트는 기본적으로 무선랜 신호 값에 기반하여 위치를 측정한다. 그리고 한 단계 더 나아가 GSM, 블루투스, RFID 등과 같은 최신 네트워크 인프라를 구축하여 보다 정확한 위치 추적 방법을 연구 중에 있다. 유럽의 교통약자들을 위한 ASK-IT 프로젝트에서는 홈 서비스, 실내 안내 등을 제공할 때 무선랜 네트워크를 변형한 MOTE 센서 네트워크를 이용한 실내 위치 측정 방법을 연구하고 있다. 이외에도 무선 신호의 전파 모델(Propagation model)과 계산된 지점과 가장 가까운 곳을 선택하는 Nearest Neighbor 기법을 이용한 RADAR 시스템 등이 있다. 현재 상용화되어 판매 중인 시스템으로는 Ekahau RTLS(Real-Time Location System), AeroScout Visibility System 등이 있다.

이러한 연구들에서 많은 구체적인 측위 방법들을 제시하였지만 크게 두 가지 방법으로 요약할 수 있다. 첫 번째로 GPS에서도 사용되고 있는 삼각측량법과 Cellular망과 같이 격자 형태로 지역을 분할하여 셀(Cell)단위로 위치를 측정하는 Fingerprinting 방식이 있다.

2.2. 삼각측량법

<그림 1>에서 사각형을 사용자 휴대장치, 원들을 AP라고 봤을 때, 사용자 휴대장치는 각 AP까지의 거리를 반지름으로 하는 원 위에 존재한다. AP까지의 거리는 전파의 진행거리에 따른 신호감쇠 정도를 구하는 Friis 공식을 이용하여 구할 수 있으며 최소 세 지점과 거리를 이용해 <그림 1>과 같이 세 개의 원이 교차하는 점을 찾는다. 그러므로 삼각측량법을 사용하면 어디서든지 3개의 AP까지의 거리를 구하는 간단한 연산을 통해 위치 측정이 가능하다.



<그림 1> 삼각측량법

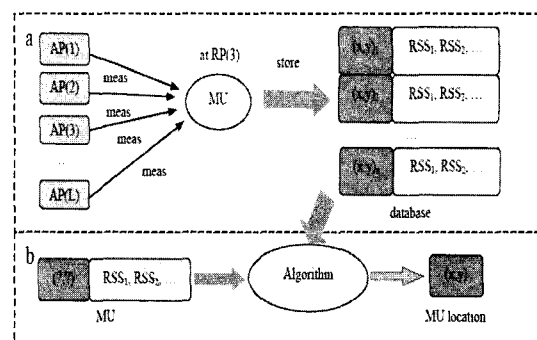
하지만 삼각측량법은 다음과 같은 두 가지 단점을 가지고 있다. 첫 번째로 신호 감쇠 값만으로 정확한 거리 측정이 불가능하다. Friis 공식은 신호 전달 과정에서 아무런 전파 방해가 없는 이상적인 환경일 때를 가정한 것이기 때문에 가구나 벽,

문과 같은 장애물이 많은 실내 공간에서는 사용할 수 없다. 다른 전파 특성을 고려한 거리 계산법을 사용한다 해도 AP의 전파 출력이나 안테나 이득과 같은 부가적인 정보가 요구되기 때문에 전용 AP만을 사용해야 하는 약점이 존재하게 된다. 둘째로 주변 지역에 있는 AP들의 위치와 맥 어드레스(MAC Address) 정보가 필요하다. 어떤 AP가 어느 위치에 있는지 모른다면 사용자 장치가 받은 신호 값으로 거리 값을 구해도 세원의 교차점을 구할 수 없게 된다.

2.3. Fingerprinting

Fingerprinting 은 경험적인 데이터에 기반한 방법으로써 먼저 위치를 측정하고자 하는 지역을 셀 형태로 나누어 각 셀에 대한 신호 값을 조사하여 저장해놓은 다음 실제 측위 시 저장된 값과 비교하여 위치를 결정하는 방법이다. Fingerprinting 방법은 <그림 2>와 같이 두 단계로 나누어 수행된다. 첫 번째 단계에서는 위치 측위 대상 지역을 셀 형태로 나누어 각 셀 별로 신호 강도 데이터를 수집하며 두 번째 단계에서는 수집된 데이터를 기반으로 특정한 알고리즘을 사용하여 실제 위치를 추정한다. 이렇게 셀 단위로 데이터를 저장하기 때문에 위치 측위의 최종 결과는 셀 식별자가 된다.

<그림 2>에서 a는 신호 수집 단계로 사용자 장비(MU : Mobile Unit)가 3번 셀(RP : Reference Point)에서 여러 AP로부터 신호 값을 측정하여 데이터베이스에 저장하는 과정을 보여주고 있다. b는 신호 값 데이터베이스와 현재 신호 측정 값을 알고리즘에 적용하여 현재 위치에 해당하는 셀을 결정하는 과정을 보여주고 있다.



<그림 2> Fingerprinting 위치 측위 과정

이 방법은 특정 지역에 대한 신호 특성 값을 추출하기 때문에 주위 환경 특성을 반영한 신호 값을 저장할 수 있으며 주위 환경이 크게 변하지 않는 한 그 지역에 대한 신호 특성 값은 대체로 일정하게 유지되기 때문에 저장된 신호 값과 현재 측정된 신호 값의 비교를 통하여 보다 정확한 위치 측정이 가능하다. 또한 삼각측량법과는 달리 AP의 위치, 맥 어드레스, 안테나 속성과 같은 장치 의존적인 정보를 알고 있을 필요가 없어 어떤 AP라도 위치 측정에 사용할 수 있다. 한편 신호를 수집하는데 필요한 시간이 위치 측정 대상 지역의 규모와 분할

된 셀에 비례하므로 실제 위치 측위 단계 전에 많은 사전 작업이 요구되며 수집된 신호는 주변 환경에 대한 특성을 반영하고 있기 때문에 주변 환경이 바뀌면 새로 데이터 수집을 해야 하는 단점이 존재한다. 하지만 일부 셀에서만 신호 데이터를 수집하고 보간법을 사용하여 나머지 셀들에 대한 신호 정보를 생성하는 방법으로 이러한 단점을 일부분 보완할 수 있다.

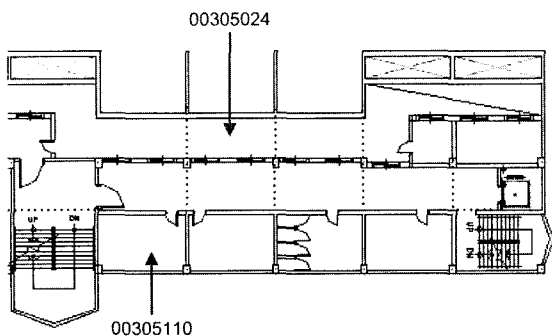
지금까지 무선랜으로 위치를 측위할 때 쓰이는 기본적인 두 가지 방법에 대하여 알아보았다. 본 연구에서는 정확도, 편의성 등을 고려하여 Fingerprinting 방법을 사용한 위치 측위 시스템을 구성하였다. 이어지는 3장에서는 구현된 시스템의 아키텍처와 세부 내용과 실험 결과에 대하여 살펴보도록 하겠다.

III. 무선랜 실내 위치 측위 과정 및 실험

본 연구에서 설명할 시스템은 기본적인 Fingerprinting 방법의 두 가지 단계에 앞서 위치 측정 대상 지역을 임의의 크기의 셀로 분할하는 첫 번째 단계를 추가적으로 고려하였다. 3.1에서 이런 셀 분할 방법과 기준을 제시한다. 이어서 3.2, 3.3에서 Fingerprinting에서 기본적으로 수행하는 데이터 수집, 위치 측정 단계에 대하여 알아보겠다. 3.4에서는 구현한 시스템을 바탕으로 실내 위치 측위 결과와 이를 분석한 내용을 제시한다. 시스템 개발은 윈도우즈 XP 환경에서 VS.NET(Visual Studio .NET) 2005의 닷넷 프레임워크(.NET Framework) 2.0과 C++ 언어를 사용하였다.

3.1. 셀 분할 과정

Fingerprinting 방법에 기본이 되는 신호 데이터 수집의 전 단계로써 위치 측정 대상 지역을 임의의 크기의 셀로 분할하는 과정을 수행한다. Fingerprinting 위치 측위 결과는 셀 단위로 결정되기 때문에 대상 지역의 밀실이나 복도와 같이 위치를 식별하고자 하는 공간의 크기가 다양한 경우 자유롭게 셀의 크기를 조절할 필요가 있다. 하지만 위치 측위 오차 범위보다 작은 크기로 셀을 할당한다면 오히려 잘못된 결과가 나올 수 있으므로 오차 범위 이상 크기로 셀을 할당해야 한다. 본 시스템은 오차 범위를 5m로 가정하고 셀 분할 작업을 하였으며 3평 내지 4평 이하의 밀실인 경우, 하나의 셀을 할당하였다.



<그림 3>. 셀 분할 및 식별자 부여 사례

이어서 분할된 셀을 식별하기 위해 3가지 규칙을 두고 각 셀 별로 8자리 식별자를 부여하였다. 1) 최상위 3자리는 일련 번호 형식의 건물 번호를 나타낸다. 하나의 건물 내에는 수십 내지 수백 개의 셀이 존재할 수 있으므로 먼저 건물을 식별할 수 있다면 위치 측위 시 비교하는 셀의 수를 줄일 수 있다. 2) 다음 2자리는 층 번호를 나타내며 1층부터 차례대로 부여된다. 지하인 경우에도 1층부터 시작되며 지하와 지상 층 수를 더한 값이 최대 층 번호가 된다. 건물 번호와 마찬가지로 비교 연산 횟수를 줄이는 목적으로 사용된다. 3) 최하위 3자리는 하나의 층 내의 밀실 및 복도에 부여되는 일련 번호로써 3자리 중 첫 번째 자리를 복도는 0으로, 밀실은 1로 부여하고 나머지 두 자리는 인접한 공간에 연속된 번호를 부여한다. 이는 이전에 판단된 위치 번호와 비교했을 때 많은 차이가 나는 경우 잘못된 결과로 판단하고 이전 위치에서 인접한 곳을 표시함으로써 간단한 위치 보정을 가능하게 한다.

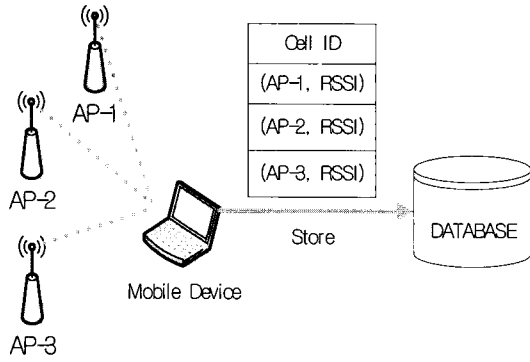
<표 1> 셀 식별자 규칙

	상위 3자리	가운데 2자리	하위 3자리
의미	건물 식별자	층 식별자	공간 식별자
부여 방법	일련 번호	해당 층 번호	복도:0xx, 밀실:1xx 일련 번호
효과	건물 식별, 탐색 횟수 감소	층 식별, 탐색 횟수 감소	위치 보정

3.2. 신호 데이터 수집 과정

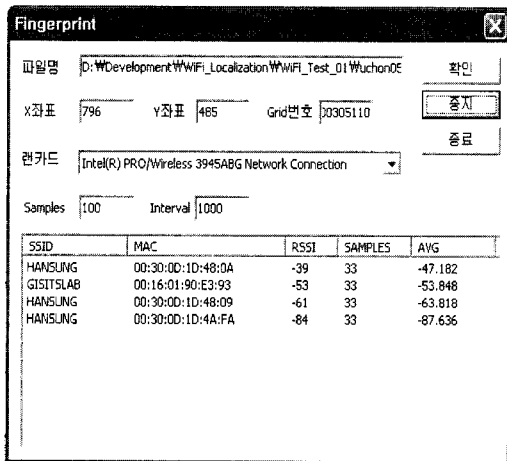
본 과정은 Fingerprinting 위치 측위 방법을 사용할 때 필수적으로 수행해야 하는 과정으로, 주된 목적은 분할된 각 셀을 대표할 수 있는 신호 특성 값을 추출하는 것이다. 가능한 한 정확하고 많은 신호 값을 수집해야 해당 셀에 맞는 신호 값을 얻을 수 있으므로 많은 시간이 소요될 수 있다. 또한, 얻어진 신호 특성 값은 차후 위치 측위 과정에서 비교 기준이 되어 위치 측위 정확도를 결정하는 중요한 요인이 되기 때문에 상당히 중요한 과정이라 할 수 있다. 특히 문의 닫힘 상태, 주위 가구 배치, 지향 방향에 따라 신호 강도 값이 많은 차이를 보이므로 여러 경우에 대해서 신호 데이터를 수집하는 것이 바람직하다.

본 연구에서 다루는 시스템은 NDIS(Network Driver Interface Specification)의 미니포트 드라이버(miniport driver) 계층에 존재하는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)값을 가져오는 방법으로 신호 데이터를 수집하였다. NDIS란 NIC(Network Interface Cards)들을 위한 공통 API(Application Programming Interface)들을 정의한 것으로써 마이크로소프트와 3Com에 의해 개발되었다. 시스템에서 참조하는 미니포트 드라이버는 NDIS의 최하위 계층에 존재하며 네트워크 드라이버에 대한 저 수준의 정보를 참조할 수 있는 API나 정보 객체들을 제공한다.



<그림 4>. 신호 데이터 수집 개념도

신호 데이터를 모으는 작업과 신호 데이터를 가지고 위치를 측정하는 작업은 순차적으로 진행되기 때문에 두 개의 모듈로 나누어 설계하는 것이 일반적이다. 또한 위치 측정 모듈은 단순히 위치 측정 뿐 아니라 다른 응용 프로그램에서도 사용될 수 있기 때문에 주변 모듈에 의존적이지 않는 형태로 구성하는 것이 바람직하다. 본 시스템에서는 이와 같은 것들을 고려하여 두 가지 모듈로 분리하여 구현하였다.



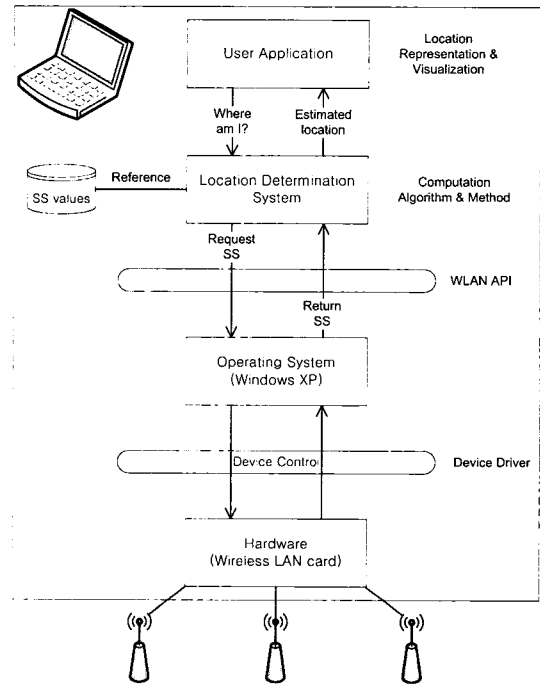
<그림 5>. 신호 데이터 수집 모듈 실행 화면

신호 수집이 끝나면 그동안 측정된 값들에 대해 평균, 대표값 등을 통해 신호 특성 값을 추출한다. 이 신호 특성 값은 해당 셀을 대표하는 값으로써 3.1에서 부여한 셀 번호와 함께 데이터베이스나 파일 형태로 저장된다.

3.3. 위치 측위 과정

본 과정은 3.2에서 각 셀 별로 생성된 신호 특성 값을 사용해 실질적인 위치 측위를 하는 과정으로 최종 위치는 셀 식별 번호로 결정된다. 신호 데이터 수집 모듈과 분리하여 설계한 위치 측위 모듈의 아키텍처는 다음과 같으며 위치 결정 시스템(Location Determination System)이 가장 핵심적인 부분을 차지한다. 위치 결정 시스템 상위에 존재하는 사용자 응용 프로그램(User Application)은 위치가 결정된 셀 번호를 참조하

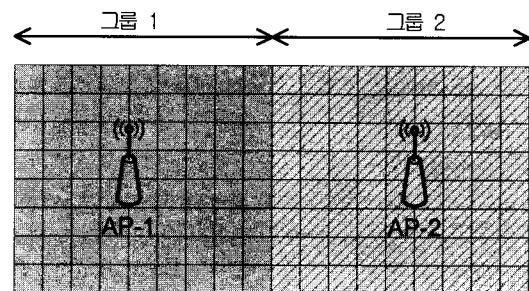
여 사용자의 위치를 화면에 표출하는 역할을 수행한다.



<그림 6>. 위치 측위 모듈 아키텍처

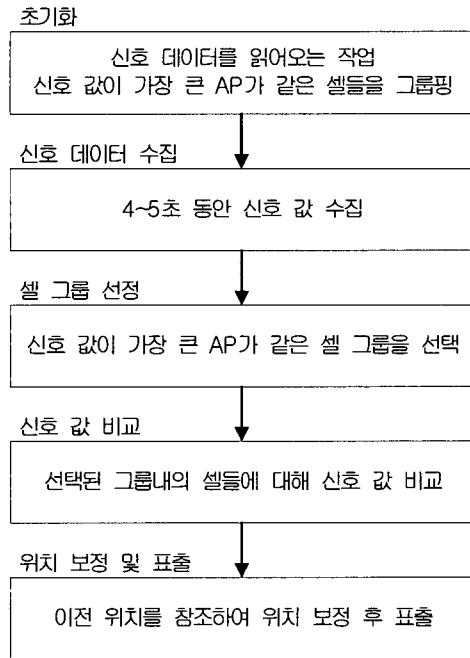
본 시스템에서는 기존에 모든 셀을 탐색하여 비슷한 신호 특성 값을 찾아내는 Fingerprinting 방법의 성능을 향상시키기 위해 신호 강도 값이 가장 큰 AP가 같은 셀 끼리 그룹으로 묶는 방법을 사용하였다. 이 방법을 사용하면 현재 측정된 신호 값 중에 신호가 가장 강한 AP를 찾고 이에 해당하는 그룹만 탐색하면 실제 위치를 찾을 수 있으므로 보다 효율적인 위치 측위가 가능하다.

<그림 7>은 신호 세기가 가장 큰 AP에 따라 그룹으로 묶인 두 개의 그룹을 보여주고 있다. 신호 값이 가장 큰 AP를 대상으로 하는 것 뿐만 아니라 두 번째, 세 번째로 큰 AP를 기준으로 그룹 설정을 한다면 좀 더 많은 셀들을 비교함으로써 보다 정확한 위치 측정 결과를 얻을 수 있을 것이다. 이러한 그룹 설정 과정은 이미 수집되어 있는 신호 데이터 값을 기반으로 하기 때문에 위치 측위 모듈 실행 시 처음 한번만 수행된다.



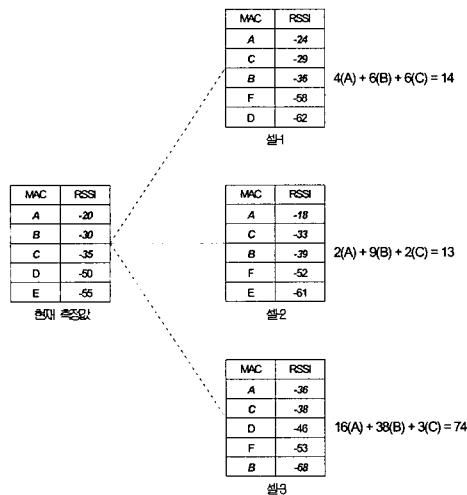
<그림 7>. 셀 그룹 설정

위치 측위 과정은 다음과 같은 순서대로 수행된다. 1) 신호 데이터 수집과정에서 저장한 파일을 읽고 각 셀들을 그룹으로 묶는 초기화 과정을 수행한다. 2) 이어서 신호 데이터를 수집하는 방법과 동일하게 4초 내지 5초 동안 신호 값을 얻는다. 3) 수집된 데이터의 AP에 따라 먼저 셀의 그룹을 선정한다. 4) 그룹 내의 셀들에 대해 저장된 신호 특성 값들과 비교하는 작업을 반복한다. 아래 <그림 8>은 전체적인 위치 측위 과정을 보여주고 있다. 초기화 과정을 제외한 나머지 과정들은 반복적으로 수행된다.



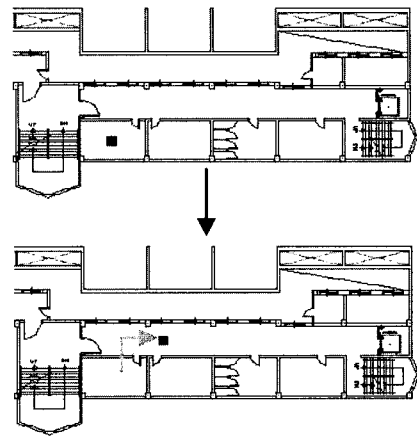
<그림 8>. 위치 측위 과정

AP의 맥 어드레스는 AP를 식별하는 수단이므로 셀의 신호 특성 값을 비교할 때 반드시 같은 맥 어드레스의 신호 값을 대상으로 비교해야 한다. <그림 9>에서는 같은 AP끼리의 신호 차이 값으로 위치를 결정하는 과정을 보여주고 있으며 최종적으로 2번 셀이 선택된다.



<그림 9>. 신호 강도 값 비교 과정

신호 값 비교를 통해 결정된 셀은 <그림 10>와 같이 화면에 표현된다. 4초 내지 5초간 신호 강도 값을 받기 때문에 현재 위치가 갱신되는 간격도 그와 동일하다. 3.1에서 제안한 3가지 규칙에 따라 셀 번호를 부여했으므로 각 밀실과 복도의 인접한 공간은 연속된 셀 번호를 가지고 있다. 만약 새로 결정된 셀 번호와 이전 셀 번호가 많은 차이를 보이는 경우, 잘못된 위치 값으로 판단하여 이전 위치를 계속 보여주거나 이전 위치의 인접한 셀을 선택함으로써 간단하게 위치 보정을 할 수 있다.



<그림 10>. 현재 위치 표출

3.4. 실험 결과 및 분석

실험 지역은 한성대학교 미래관으로 설정하였으며 간단한 실험을 위해 지하 1층에서만 위치 측정 실험을 하였다. 지하 1층에는 총 3개의 AP가 설치되어 있고, 지상 1층은 3개, 지하 2층은 2개의 AP가 설치되어 있다. 본 논문에서 제시한 셀 분할 방법에 따라 대상 지역을 나누고 건물 번호는 100, 층 번호는 02로 지정하였다. 각 셀 번호는 10002xxx형식을 취하며 총 셀의 개수는 52개이다.

또한 앞서 제시한 셀을 그룹으로 묶는 방법을 사용하였다. 어떤 셀에 대하여 신호 강도 값이 첫 번째로 큰 AP가 같은 셀끼리 묶은 1그룹과 각각 두 번째, 세 번째, 네 번째로 신호 값이 큰 AP가 같은 셀끼리 묶은 2, 3, 4그룹을 생성하여 그룹 수에 따른 비교 횟수와 위치 측위 정확도를 측정하였다.

<표 2> 그룹 수에 따른 비교 횟수 및 정확도

그룹	비교 횟수	정확도
1그룹	6	60
2그룹	13	75
3그룹	19	83
4그룹	24	85

<표 2>에서 많은 그룹에 대하여 탐색 할수록 비교 횟수가

늘어나는 것을 알 수 있다. 그룹의 개수가 많아질수록 중복으로 탐색되는 셀이 증가하지만 실질적으로 비교하는 셀의 개수는 많이 줄어 들지 않는다. 위의 실험 환경에서 하나의 셀의 신호 값들 중 3-4번째로 큰 신호 값들은 대체로 낮고 그 보다 낮은 신호 값들과 거의 차이가 없었다. 또한 신호 값이 불안정하고 변동 폭도 심해 관측되지 않는 경우도 많았다. 그러므로 이런 신호 값들을 그룹으로 묶어 현재 위치가 될 수 있는 후보 위치를 정하는 데 기준으로 활용하는 것은 적절하지 못하다. 신호 값 수집 단계에서 한 지역에서 어떤 AP들의 신호가 유효한지를 판단하여 필요 없는 값을 버리는 작업이 필요할 것이다.

그룹 수에 따른 위치 추정 정확도는 <표 2>에서와 같이 비교 하는 그룹 수에 비례하여 증가하고 있다. 그룹 개수가 많아질수록 비교하는 셀의 개수가 증가하기 때문에 정확한 위치 추정이 가능하다. 하지만 일정 개수 이상의 그룹에 대하여 검색하는 경우 정확도의 증가치가 감소됨을 알 수 있다. 위 실험 환경의 경우 셀 비교 횟수나 정확도 측면에서 볼 때 3개 정도의 그룹을 생성하는 것이 효율적이다.

IV 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 위치 측위 시스템을 구축하기 위한 방법들을 제시하였으며 그 중 하나인 Fingerprinting 방법을 사용하여 실제 시스템을 구축하는 방법과 성능 개선을 위한 몇 가지 방안을 제안하였다. 첫째로, 셀 식별 번호를 부여하는 규칙에 따라 인접한 셀에 대하여 연속된 셀 번호를 부여하여 위치 보정을 수행하여 보다 정확한 위치 측정이 가능하게 하였다. 둘째로, 신호 세기가 가장 큰 AP가 같은 셀들을 그룹으로 묶어 빠르고 효율적인 위치 측정이 가능하도록 하였다.

무선랜 위치 측위 시스템은 적은 설치 비용과 정확한 위치 측정이 가능하다는 장점으로 많은 분야에 응용될 수 있다. 장애인이나 노약자들을 위한 건물 내부의 경로 안내 및 시설물 안내에 활용 될 수 있으며 주요 물품의 도난 방지, 건물 내 인력 관리 등에도 유용하게 쓰일 수 있다.

본 논문의 시스템에서 사용된 Fingerprinting 방식 뿐 아니라 삼각측량법을 혼합하여 사용하거나 신호 특성 값을 구할 때 단순히 평균, 대표 값과 같이 결정적인(Deterministic) 방법이 아닌 좀 더 복잡한 확률적인(Probabilistic) 방법으로 접근하는 것도 향후 좋은 연구 방향이 될 것이다. 덧붙여 차후 소형 모바일 장치에 이식될 것에 대비하여 최소한의 전력만을 사용하는 무선랜 장치 개발에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN, IEEE, 2006.03
2. Designing An Indoor Positioning System Based on The WiFi Fingerprinting Mechanism, 2006 離島資訊與應用研討會,

- 2006.06
3. RADAR : An In-Building RF-based User Location and Tracking System, IEEE, 2000.03
4. A New Method for Yielding a Database of Location Fingerprints in WLAN, IEEE Proc, 2005.04
5. A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation, International Journal of Wireless Information Networks, 2002.07
6. WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions, IEEE Proc, 2003.03
7. A Probabilistic Clustering-Based Indoor Location Determination System, Technical Report, University of Maryland, 2002. 04
8. Positioning with IEEE 802.11b Wireless LAN, IEEE, 2003. 09
9. Area Localization using WLAN, KTH Electrical Engineering, 2006. 08
10. Place Lab : Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, Pervasive, 2005
11. <http://www.ndis.com>
12. <http://msdn.microsoft.com/library>