삼각 측량법을 이용한 전자캠퍼스를 위한 옥내 측위 모듈 개발

임재걸*, 김복준*
*동국대학교 컴퓨터멀티미디어학과
e-mail:* {yim, kbj1614}@dongguk.ac.kr

Implementation of an Indoor Positioning Module for E-Campus Using Triangulation

Jaegeol Yim*, Bokjun Kim*
*Dept of Computer and Multimedia, Dongguk University

요 약

위치기반서비스 시스템에서 가장 기본이 되는 요소는 사용자의 위치를 정확히 측정하는 것이다. 본 논문은 삼각 측량법을 이용한 전자캠퍼스를 위한 옥내 측위 시스템 구현 사례를 소개한다. 캠퍼스에는 일반적으로 무선 LAN이 설치되어 있다. 본 측위 시스템의 측위 방법은 무선 LAN의 액세스 포인트(AP)로부터 수신된 신호의 RSSI를 이용하여 AP까지의 거리를 추정하고, 이 거리들을 바탕으로 삼각 측량법을 이용하여 사용자의 위치를 추정한다. 구현한 측위 시스템의 성능을 검증하기 위한 실험 결과도 소개한다.

1. 서론

2000년대 이후 인터넷 및 이동통신 기술 그리고 제반 인프라의 급속한 발전에 따라 관련 서비스의 다양성 및 확장성이 커져감에 따라 위치기반서비스(LBS : Location-Based service) 시스템이 많이 쓰이고 있다. 위치기반서비스(LBS : Location-Based service)에서는 사용자의 위치를 파악하는 것이 중요하다.

옥외의 경우에는 사용자 위치 파악을 위하여 GPS가 성공적으로 일반화되어 사용되고 있다. 그러나 옥내의 경우에는 아직도 연구 단계에 있다. 지금까지 소개된 옥내 측위 시스템 중에 널리 알려진 것으로 액티브 배지[1], Active Bat과 cricket[2], 그리고 RADAR[3]가 있다. 이 방식들의 단점은 모두 측위만을 위한 특별 장치를 사용한다는 것이다.

본 논문에서는 액세스 포인트(AP)의 신호세기와 거리의 관계를 규명하여 AP로부터의 거리를 바탕으로 사용자의 위치를 판정하는 방식을 적용하여 측위 모듈을 개발한다.

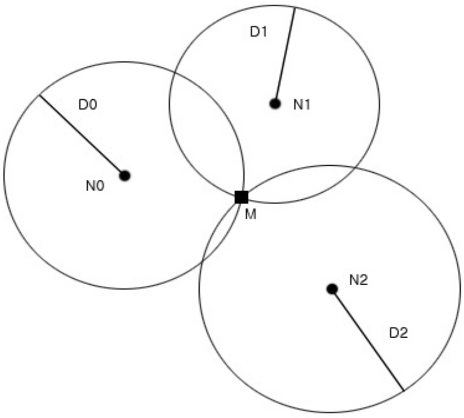
2. 삼각 측량법

무선 LAN 카드는 반경 10내지 15m 내의 AP로부터 수신되는 신호의 세기를 읽는다. 신호의 세기와 거리와의 관계를 파악하면 수신한 신호의 세기를 이용하여 거리를 계산할 수 있고, AP의 위치와 거리를 이용하여 삼각 측량법으로 사용자의 위치를 계산할 수 있음으로 본 절에서는 삼각 측량법에 대해 설명하고자 한다.

삼각측량법을 적용하려면 (그림 1)에 보이는 바와 같이 최소 3 개의 AP 각각에 대한 위치와 거리를 알아야 한다. 그림에서 N_0, N_1, N_2 는 각각 위치가 이미 알려진 AP를 의미하고, D_0, D_1, D_2는 각각 사용자로부터 N_0, N_1, N_2 까지 의 거리이다. AP를 중심으로, 이들 AP와 사용자 간의 거리를 반지름으로 하는 원 또는 구를 형성할 때 생성되는 교차점이 바로 사용자(M)의 위치가 된다.

일반적으로 M의 위치를 (x, y, z) 좌표로, 고정노드 N_i의 위치를 (X_i, Y_i, Z_i) 좌표로, 그리고 M과 고정노드 N_i 간의 거리를 D_i로 나타내면, 좌표와 거리에 대한 관계는 다음 식으로 나타난다.

$$(x-X_i)^2+(y-Y_i)^2+(z-Z_i)^2=D_i^2$$
$$(i=0,1,2,\cdots,m-1)$$



(그림 1)삼각측량법을 나타내는 도형

3차원의 경우 최소한 4개의 고정 노드가 필요하다. 위 식에서 제곱 항을 소거하면, 3개의 변수를 갖는 선형방정식이 된다. 이를 Matrix형태로 나타내면 다음 식과 같다.

$$A\vec{x}=\vec{b}$$

여기에서

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

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

이고,

$\vec{x}=\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$이다.

위의 식을 풀기 위해서는 다음 식에서 δ를 최소로 하는 (x', y', z')를 구하는 것이다.

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

이를 만족하는 좌표 $\vec{x'}$는 MMSE(Minimum Mean Square Error)방식에 의한 Matrix 해답으로 다음과 같이 구할 수 있다.

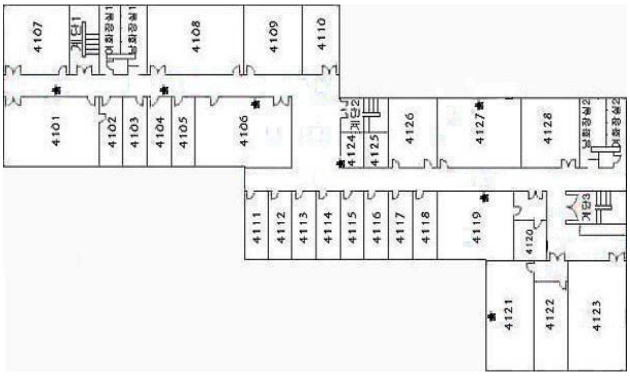
$$\vec{x'}=(A^TA)^{-1}A^T\vec{b}$$

3. 옥내 측위 모듈

본 논문에서 소개하는 AP의 신호세기를 이용하여 AP로부터 사용자까지의 거리를 추정하고 삼각 측량법으로 사용자의 위치를 판단하는 측위 모듈 개발 방법은 무선 LAN이 설치된 곳에서는 어디에서든지 적용 가능하다. 이 방법을 적용한 프로토타입을 본교 자연과학관 4층을 대상으로 개발한 사례를 소개한다.

3-1 개발환경

본교 자연과학관 4층의 구조와 각 AP의 위치를 보여주는 평면도는 (그림 2)와 같다. (x 축의 실 거리는 85.5m에 좌표는 0~608, y 축의 실 거리는 43.8m에 좌표는 0~290이다.)



(그림 2) 자연과학관 4층 약도와 각 AP기의 위치

각 AP기의 모델은 4101, 4104의 벽에 있는 AP기는 CISCO SYSTEMS社의 CISCO AIRONET 1130AG SERIES MODEL이고, 4106, 4127, 4119 4121 4123의 벽에 있는 AP기는 CISCO AIRONET 1121G SERIES MODEL, 4124의 벽에 있는 AP기는 CISCO AIRONET 1131G SERIES MODEL이다.

노트북은 LG-IBM ThinkPad R32를, 외장형 무선랜카드는 KTS社의 IEEE 802.11B 무선랜카드(WinWave 1100P)를 사용한다. 실험을 위하여 RSSI 신호측정 프로그램과 삼각측량 프로그램을 작성한다. 프로그램 개발 도구로 Microsoft Visual C# 2005를 사용한다.

RSSI를 이용하여 AP와 사용자와의 거리를 추정하기 위해서는 신호의 값과 거리와의 관계를 규명하는 것이 중요하다. 각각의 AP에서 1m 단위로 신호 값을 여러 번 측정한 결과 값의 평균으로, 신호 세기와 거리 간의 관계식을 구한 결과가 <표 1>에 보인다.

신호 값은 시간대와 사람들의 영향을 조금씩 받게 되므로 사람의 통행이 적고 안정적인 시간인 20시에서 24시 사이에 측정하였다.

<표 1> 각 AP기의 신호세기에 따른 거리의 추세 식

위치	추세 식
4101	y(신호값) = -11.984Ln(x(거리)) - 35.143
4104	y(신호값) = -10.076Ln(x(거리)) - 31.856
4106	y(신호값) = -13.74Ln(x(거리)) - 28.086
4124	y(신호값) = -9.78Ln(x(거리)) - 34.18
4127	y(신호값) = -9.4062Ln(x(거리)) - 38.721
4119	y(신호값) = -13.805Ln(x(거리)) - 33.696
4121	y(신호값) = -7.8772Ln(x(거리)) - 38.85

신호 값은 벽이나 기타 장애물에 영향을 받는다. 벽을 통과한 경우와 통과하지 않은 경우에 RSSI를 여러 번 측정하여 콘크리트 벽 하나를 통과할 때마다 신호세기가 10 dBm 씩 감소하고, 철제 간이 벽을 통과할 경우에는 15dBm 씩 감소함을 알았다. 따라서, 만약 현재 위치와 AP 간에 콘크리트 벽이 2개 존재한다면 수신된 신호 값에 20 dBm을 더한 다음 <표 1>의 식을 적용해야 한다.

3-2 측위 모듈

본 절에서는 본 논문에서 구현한 측위 모듈의 구성을 설명한다. 이 모듈은 RSSI 신호를 바탕으로 해당 RSSI를 송신한 AP까지의 거리를 계산하고, 삼각측량법을 적용하여 사용자의 위치를 알려주는 전략을 사용한다.

따라서 본 측위모듈은 각 AP의 MACAddrese와 x, y, z 좌표를 입력 받아야 한다. 정확한 좌표값을 얻기 위해서 각 AP의 MACAddrese와 x, y, z 좌표는 cm단위로 <표 2>와 같은 형식으로 파일에 저장한다.

<표 2> 각 AP의 MACAddress와 x, y, z좌표

```
FILE APPosition
00:13:5F:57:C4:70 : x, y, z 731.25, 1057.24, 261,
00:13:5F:57:C0:00 : x, y, z 2193.75, 1057.24, 261,
00:13:C3:9C:01:F0 : x, y, z 3445.31, 1117.66, 295,
00:13:80:A9:DA:30 : x, y, z 4640.63, 1918.14, 294,
00:13:C3:9B:F6:B0 : x, y, z 6932.81, 1117.66, 291,
00:13:C3:9B:F6:C0 : x, y, z 6637.5, 2250.41, 292,
00:13:C3:9B:FB:50 : x, y, z 6637.5, 3700.34, 298
```

본 측위 모듈은 사용자 인터페이스로 picturebox, textbox, button, label 등으로 구성된 form을 포함한 윈도우를 제공한다. Picturebox에는 측위 영역을 나타내는 지도가 출력되고, 나머지 콤포넌트에는 좌표값, 신호를 보내는 AP들의 MAC address와 RSSI 값을 출력, 등이 출력된다. 본 측위 모듈의 실행 화면은 <그림 3> 보인다.

사용자가 '현재 위치?' 버튼을 클릭하면 GETRSSI()가 실행된다. GETRSSI()는 두 가지 메소드를 호출하여 AP에서 신호의 세기를 읽어오는 일을 수행하는데 StartAPScan()은 '현재 위치' 버튼을 클릭한 지역에서 측정 가능한 AP를 조사하고, GETAPList()는 AP의 RSSI를 LAN 카드에서 읽어오는 일을 수행한다. 이때 AP의 MAC address도 함께 읽어 온다.

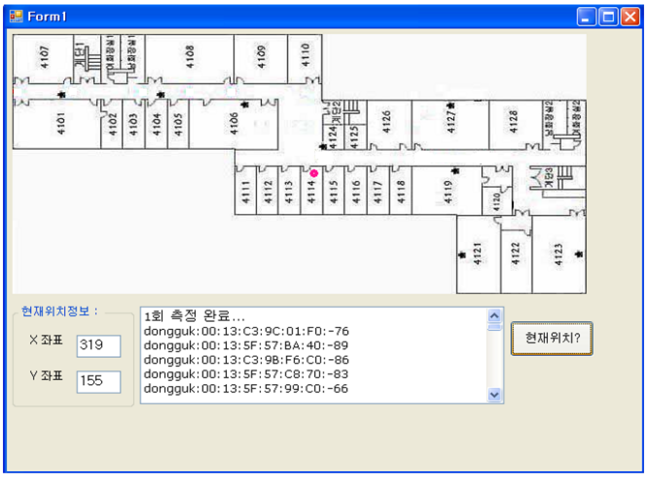
측정된 신호 값들 중에서 자연과학관 4층 내에 위치한 AP에서 입력된 RSSI 중 가장 큰 네 개를 선택하여, 해당 AP의 X, Y, Z 좌표를 <표 2>의 FILE에서 읽어, 배열 x, y, z에 각각 배정한다. 즉, 가장 큰 신호 값의 MACAddress의 x, y, z좌표를 x[0], y[0], z[0] 두 번째 큰 MACAddress의 신호 값의 MACAddrss의 x, y, z좌표를 x[1], y[1], z[1] 세 번째 큰 신호값의 MACAddress의 x, y, z 좌표를 x[2], y[2], z[2] 네 번째 큰 신호값의 MACAddress의 x, y, z좌표를 x[3], y[3], z[3]에 입력한다. 배열 x, y, z를 <표 3>에 보이는 함수 Triangulation에 인자로 보내 사용자의 x, y 좌표를 계산한다. 함수 Triangulation은 2절에서 소개한 삼각측량법을 이용한다.

<표 3> 삼각 측량법 알고리즘

algorithm Triangulation(double x[], double y[], double z[])
사용자의 위치인 x, y좌표를 추정하기 위한 삼각측량 알고리즘
사후조건 정수 x, y를 출력한다.
double A[3,3]; // 2절에서 언급한 행렬 A에 해당함.
double x_vec[3]; // 사용자의 위치를 추정한 x, y좌표
double distance[4] // 사용자와 네 개의 AP와의 추정된 거리
int x[0], y[0]; // 사용자의 위치를 출력하는 x, y좌표
double b_vec[3]; // 3절에서 언급한 행렬 $\vec{b}$에 해당함.
1 인자로 받은 x, y, z 배열로부터 행렬 A를 구축한다.
2 if(현재 위치에서 AP까지 장애물이 있다)
신호값+= (콘크리트 벽 개수*10)+(간이 벽 개수*15)
3 distance[4]에 사용자와 세 개의 AP와의 거리를 cm단위로 저장
4 b_vec[0]= $(x[1]^2-x[0]^2)+(y[1]^2-y[0]^2)+(z[1]^2-z[0]^2)-((distance[1])^2-(distance[0])^2)$
b_vec[1]= $(x[2]^2-x[0]^2)+(y[2]^2-y[0]^2)+(z[2]^2-z[0]^2)-((distance[2])^2-(distance[0])^2)$
b_vec[2]= $(x[3]^2-x[0]^2)+(y[3]^2-y[0]^2)+(z[3]^2-z[0]^2)-((distance[3])^2-(distance[0])^2)$
5 x_vec = $(A^TA)^{-1}A^T\vec{b}$
6 x[0] = (x_vec[0]/8550) * 608 // 결과값 cm를 x좌표로 변환한다.
y[0] = (x_vec[1]/4380) * 290 // 결과값 cm를 y좌표로 변환한다.

4. 실험 결과

본 측위 모듈의 실행 예가 (그림 3)에 보인다. 4124 AP 앞에서 측정한 결과 약 2.869243m의 오차를 보인다.



(그림 3) 4124 AP 앞에서 측정시의 결과 화면

자연과학관 4층 복도 30곳에서 측위 시스템을 500번 실행하여 얻은 모든 결과에 대한 오차를 평균하여 약 4.367532m라는 결과를 얻었다. 실험 과정을 설명하기 위하여 어떤 지역에서 측정한 신호 값의 전형적인 측정치를 <표 2>에 보인다. 그 지점에서 측정한 여러 AP의 신호 값 중에서 가장 큰 3개의 신호 값과 해당 신호를 송신한 MAC Address를 이용하여 사용자의 위치를 판단한다. <표 2>를 보면 한 지점에서의 신호의 크기가 대체적으로 큰 차이를 보이지는 않는다는 것을 알 수 있다.

<표 2> 측정시의 MAC Address와 신호 값 1

AP1	신호 값	AP2	신호 값	AP3	신호 값
DA30	-46	01F0	-74	F6B0	-87
DA30	-42	01F0	-71	F6B0	-86
DA30	-42	01F0	-71	F6B0	-87
DA30	-43	01F0	-76	F6B0	-85
DA30	-40	01F0	-75	F6B0	-86
DA30	-41	01F0	-78	F6B0	-84
DA30	-43	01F0	-77	F6B0	-81
DA30	-43	01F0	-76	F6B0	-85
DA30	-42	01F0	-77	F6B0	-84
DA30	-42	01F0	-73	F6B0	-87

여러 지역에서 측정한 후 삼각측량법을 이용하여 사용자의 위치를 추정한 전형적인 결과를 <표 3>에서 보여준다. 실제 측정 위치의 x, y좌표는 (330, 139)이다.

오차=

$$\sqrt{\left(\frac{\text{실제}x\text{좌표}}{608}*85.5-\frac{\text{측정된}x\text{좌표}}{608}*85.5\right)^2+\left(\frac{\text{실제}y\text{좌표}}{290}*43.8-\frac{\text{측정된}y\text{좌표}}{290}*43.8\right)^2}$$

<표 3> 측정 후의 결과 값의 x, y좌표와 오차

측정된 x좌표	측정된 y좌표	오차(m)
302	166	5.668634
329	89	7.55303
308	123	3.925685
327	154	2.304465
319	155	2.869243
328	187	7.255103
366	107	6.999126
327	154	2.304465
332	165	3.936958
303	154	4.4214

5. 결론

본 논문은 AP의 RSSI를 사용하여 거리를 구하는 것과 이를 이용한 삼각측량법의 측위 방법이 대학 캠퍼스 옥내 측위에 실용성이 있는지 살펴본 실험 결과를 보였다. RSSI를 바탕으로 거리를 추정한 실험 결과 AP기가 약 20m 이내에 위치한 경우 평균 약 3.7326m의 오차를 보였다.

AP와 사용자 간의 거리에 삼각측량법을 적용하여 사용자의 위치를 판정하는 방법도 소개 하였다. 실험 결과 삼각측량법을 사용한 오차가 약 4.367532m임을 알 수 있었다. 이 논문의 실험 결과는 제한적인 장소에서 측정한 결과지만 사무실이나 여러 강의실에서 측정을 해도 AP기와 사용자 사이에 장애물의 요소와 개수를 파악한다면 앞의 결과와 유사한 오차범위의 위치를 찾아낼 수 있다. 하지만 신호세기는 시간과 사람들의 이동이 많은 곳에서는 변화가 심하기 때문에 실용화되기에는 문제가 있다. 향후에는 다른 보정 자료를 이용하여 실용화하는 방법을 연구하고자 한다.

참고문헌

[1] Want, A. Hopper, V. Falco and J. Gibbons, "The Active Badge Location System", ACM Transactions on Infomation Systems 10, pp. 91-102, Jan. 1992.

[2] Adam Smith, Hari Balakrishnan, Michel Goraczko, and Nissanka Priyantha, "Tracking Moving Devices with the Cricket Location System", Proc. of MobisSYS'04, June 2004.

[3] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR:An in-building RF-based user location and tracking system, INFOCOM, pp. 775-784, Mar. 2000.