

외부 GPS 모바일 단말기를 이용한 실내 위치 추적 기법

*조형민 **이정우

서울대학교 전기공학부

*chm84@wspl.snu.ac.kr **junglee@snu.ac.kr

Indoor positioning scheme using GPS equipped outdoor terminals

*Cho, Hyung-min **Lee, Jung-woo

Seoul National University Electrical Engineering

요약

최근 들어 위치 기반 서비스(Location Based Service)는 치안, 인명 구조, 물류 추적, 길안내 등 다양한 분야로 적용 가능성 때문에 많은 관심을 받고 있는 기술이다. 스마트 폰과 같은 모바일 단말기의 보급이 가속화되면서 사용자는 위치 정보를 이용한 각종 서비스에 대한 요구가 늘어나고 관련 산업의 사업성이 폭발적으로 증가하고 있는 추세다.

실외 위치 추적 기법은 인공위성을 이용한 GPS(Global Positioning System) 기법이 시장을 거의 평정하여 이에 수렴해 가고 있는 상황이고 실제로 많은 상용 제품이 존재하고 있다. 하지만 실내에는 인공위성 신호가 직접 전해 지지 못하는 상황이기 때문에 이와 다른 기법이 존재하나 아직 상용화하기에 그 정확도와 기술력이 부족한 것이 현실이다.

본 논문에서는 건물 밖에 존재하는 GPS 기능이 탑재된 모바일 단말기를 이용하여 실내에 존재하는 모바일 단말기와 협력 통신(Cooperative Communication)하여 위치를 추적하는 기법을 제안한다. 최근 들어 GPS 장비의 단가 하락으로 이 기능을 가지고 있는 모바일 단말기가 증가하고 있는 추세이기 때문에 실내 위치 추적 시스템을 구축하기 위해 별도의 장비를 설치하지 않아도 된다는 것이 이 기법의 가장 큰 장점이다. 시뮬레이션의 결과를 통해 본 기법의 효율성을 확인해보았다.

Keyword : indoor positioning, GPS, ToA, cooperation

1. 서론

측위 기술은 과거 군사용, 항해용으로 사용되던 기술이다. 하지만 최근 들어 관련 기술에 대한 사용자의 필요가 증가함에 따라 상업적으로 관련 기술의 적용이 큰 관심을 받고 있다. 특히 차량용 네비게이션과 스마트 폰의 대중화로 인해 개인 사용자의 위치 기반 서비스 요구의 증가는 오늘날 커다란 이슈가 되고 있다. 실외 측위 기술은 인공위성을 이용하는 GPS기술이 상용화에 적합하도록 정확성을 보장하고 있고 모바일 단말기에서는 GPS기술과 기지국을 함께 이용한 A-GPS 기술이 상용화되어 이용되고 있다[1]. 그 밖에 CDMA 기반의 실외 무선 측위 방법, OFDM 기반의 실외 무선 측위 방법 등이 있으며 이는 Cell-ID 방식으로 이루어진다.[2] 하지만 이러한 기술 기반으로 제공되는 기법들은 다양한 위치 기반 서비스에 적용하기에 정확도에서 부족한 것이 현실이다. 앞서 언급한 것과 같이 실외 측위 기술은 GPS를 이용한 기법이 평정했다고 봐도 무방하다.

실내 측위 기술은 상황이 더 복잡한 실정이다. 우선 실내에서 인공위성이 쏘는 신호를 수신할 수 없기 때문에 GPS기법을 사용하는 것은 불가능하다. 따라서 다른 방법이 연구되고 있는데 WLAN 기반 측위 기술, 적외선 기반 측위 기술, 초음파 기반 측위 기술, Bluetooth 기반 측위 기술, RFID 기반 측위 기술, UWB 기반 측위 기술 등이 그 예이다.[2] 이러한 방식들은 각기 장단점을 갖고 있지만 상용화하기 위해서는 각각의 측위 기술에 맞는 별도의 장비들이 필요하다. 이는 곧 상용 단가를 높이는 결과를 불러일으키기 때문에 산업적 관점에서 비교적 좋지 못하다. 최근 연구가 많이 진행되고 있고 상용화에 가장 가까워

접근하고 있는 WLAN을 이용하는 방식은 이미 설치되어 있는 WLAN 기지국을 이용하는 관점에서는 사업성이 있지만 실내 전 지역에서 WLAN을 커버하는 곳은 많지 않다. 또한 이를 이용하기 위해서는 사용자가 WLAN을 지원하는 장비를 가지고 있어야 하고 아직까지 WLAN을 지원하는 단말기는 노트북이나 일부 스마트 폰이다.

본 논문에서는 실외에 존재하는 GPS 모바일 단말기를 이용하여 실내의 단말기의 위치를 추적하는 방식을 제안한다. GPS를 이용하여 실외에 위치해 있는 단말기들은 자신의 위치를 파악할 수 있으므로 이러한 정보들을 이용하여 ToA 방식을 사용하여 실내의 단말기의 위치를 계산하는 기법이다. 자신의 위치가 계산된 실내에 위치한 단말기들은 다시 이를 이용하여 내부의 다른 단말기들의 위치를 계산하는데 이용된다. 특히 요즘 많이 보급되어 있는 지상파 방송(DMB) 신호나 휴대폰 신호를 무선 측위에 이용하면 별도의 장비가 필요치 않다는 장점을 갖는다. 시뮬레이션을 통하여 본 기법이 상용성을 파악해보았다.

2. GPS를 탑재한 외부 단말기를 이용한 실내 무선 측위 방법

가. 시스템 모델

GPS가 탑재된 외부 모바일 단말기를 이용하여 실내에 존재하는 단말기의 위치 추적하는 모델은 그림 1과 같다. GPS를 이용하여 실외에 위치하고 있는 단말기의 위치는 비교적 정확하게 측정할 수 있다. 이러한 단말기들이 자신의 위치를 포함한 신호를 전송하게 되면 실내에 위치한 단말기는 외부 단말기에서 전송된 신호의 도착한 시간을 통

한 시간차를 이용하여 신호의 속도를 고려하여 거리를 계산할 수 있다. 여기서 각각의 단말기들은 시간 동기화가 되어 있는 상태에서 신호를 전송하는 제약이 생긴다. 시간 동기화는 기지국이나 GPS 신호를 이용하여 이루어질 수 있다.

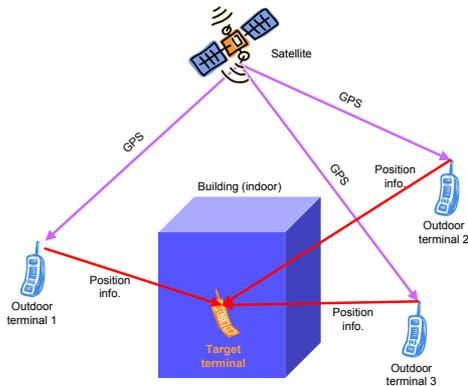


그림 1 외부 단말기와 협력을 이용한 실내 측위 기법

나. 무선 측위 기법

무선 측위에 사용되는 방법에는 Cell-ID, ToA(Time of Arrival), TDoA(Time Difference of Arrival), AoA(Angle of Arrival), Finger Print 방식 등 여러 가지가 존재한다.[2][3] ToA 방식이 사용되기 위해서는 각각의 단말기들의 정확한 시간 동기화가 이루어져야 한다는 제약이 있지만 시스템을 구성하기 쉽고 구현에 필요한 가격이 저렴하다는 장점이 있다. RSS(Received Signal Strength)를 이용하여 거리를 측정하는 방법도 존재하지만 실내와 같이 장애물이 많은 경우에는 신호 감쇠가 불규칙적으로 발생하기 때문에 많은 거리 오차가 발생하게 되어 실제 상용화에 이용되기에는 어려운 점이 있다.[4]

ToA를 이용하여 최소 세 개의 외부 단말기로부터의 위치 정보와 거리정보를 전송 받으면 삼변측량의 방법을 이용하여 구하고자하는 단말기의 위치를 계산할 수 있다.[5] 그러나 주변에 이용할 수 있는 외부 단말기의 개수가 많으면 이를 이용하여 무선 측위의 정확도를 높일 수 있다. Lateration을 이용하는 방법[5]인데 알고리즘은 다음과 같다. 위치를 구하고자 하는 터미널의 위치를 (x,y) 라하고 위치를 알고 있는 터미널의 위치를 각각 (x_i, y_i) 라 하면 각각의 거리의 식은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 \\ \vdots \\ (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1^2 \\ \vdots \\ d_n^2 \end{bmatrix}$$

위에서 n번째 식을 모든 식에 빼주면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 - 2(x_1 - x_n)x + y_1^2 - y_n^2 - 2(y_1 - y_n)y \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 - 2(x_{n-1} - x_n)x + y_{n-1}^2 - y_n^2 - 2(y_{n-1} - y_n)y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_n^2 \\ \vdots \\ d_{n-1}^2 - d_n^2 \end{bmatrix}$$

이 식은 다시 정리하면 $Ax = b$ 형태의 선형 방정식으로 정리될 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix},$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_1^2 - d_n^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_{n-1}^2 - d_n^2 \end{bmatrix}$$

위 결과를 바탕으로 (x,y) 를 구하기 위해서 least-squares 알고리즘을 사용한다.

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T b$$

여러 개의 (x_i, y_i) 값을 이용할수록 정확한 위치를 계산할 수 있지만 그만큼 계산량이 증가하는 결과를 낳게 되므로 상용화할 때 이에 따른 트레이드오프를 고려해야 한다.

다. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서는 간단하게 이해를 돕기 위해 2차원 평면만을 고려한다. 삼차원 좌표를 구하는 방법은 앞서 설명한 Lateration 방법에서 하나의 좌표를 고려해두면 된다.

실내는 150m의 정방형 크기로 GPS를 탑재한 외부 단말기들이 건물 밖에 랜덤하게 분포한다고 가정하였다. 실내에서 외부 단말기들이 보내는 신호를 모두 받는 경우를 생각해 보면 각각의 실내에 존재하는 단말기들은 매우 많은 신호들을 처리해야 하는 문제가 발생할 뿐만 아니라 거리가 멀리 떨어져 있는 곳에서 전송된 신호는 거리를 측정하는데 정확도에 대한 신뢰도가 떨어지게 된다. 따라서 일정한 파워 이상의 신호만을 고려하여 ToA를 이용하여 거리를 측정하였다. 특히 이번 시뮬레이션에서는 주변의 가장 큰 파워를 가진 노드 5개를 이용하여 무선 측위를 시행하였다. 이는 가장 큰 파워를 가진 노드가 가장 가까이 존재할 확률이 높기 때문이다.

실내의 무선 채널 모델은 [6]을 참고 하였다. 다중 경로 채널을 고려한 이 모델은 전송 신호의 주파수가 2.25GHz일 때 신호의 RMS delay spread는 LOS 상황에서 평균값이 20.9ns, 표준편차는 6.3ns이다. NLOS 상황에서는 평균값이 27.5ns, 표준편차 5.5ns를 갖는 분포를 이루고 있다. 이는 LOS에서 6.27미터, NLOS에서는 8.22미터의 평균 거리 오차 갖는다고 생각할 수 있다.

외부에서 실내로 들어오는 신호는 NLOS로 실내에서는 LOS로 가정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 2를 보면 정사각형 외부에 존재하는 녹색의 동그라미들이 GPS를 탑재한 외부 단말기이고 건물 내부에 엑스들은 실제의 노드의 위치이다. 또한 파란색 동그라미로 표시된 것은 위에 설명된 무선 측위 방법에 의해 계산된 위치이다. 처음 시도에서 외부의 단말기를 이용하여 가까이에 위치한 내부의 단말기의 위치 정보를 계산하고 다음 시도에서는 위치가 구해진 내부의 단말기가 더 내부에 존재하는 단말기에 위치정보와 함께 신호를 전송하여 거리를 측정할 수 있도록 한다. 이런 식으로 점진적인 방법에 의해 실내에 존재하는 단말기들의 위치를 계산한다. 따라서 실내의 단말기의 밀도가 높으면 높아질수록 점진적인 위치 측정 방법에 의해 빠르고 정확

하게 위치를 계산할 수 있다는 장점이 있다.

결과를 살펴보면 표 1과 같다. 실내의 노드가 100개 인 경우와 200개 인 경우를 고려하였다. 단순히 계산된 거리 오차는 두 경우가 큰 차이를 보이지 않았다. 다만 실내의 모든 노드의 위치를 구하기 위해서 100개의 노드가 있는 경우는 평균 20회 내외만큼 무선 측위를 시도해야 했고 랜덤하게 분포시킨 내부 노드의 분포도에 따라 그림2과 같이 모든 노드의 위치를 구할 수 없는 경우도 발생하였다. 하지만 밀도를 2배 늘린 결과는 평균 10회 내외에 모든 노드를 찾을 수 있었다.

	평균 보상 전	평균 보상 후	평균 시행 횟수
N=100	6.7167	4.4438	18.33
N=200	6.7203	4.4956	10.12

표 1 실내 노드가 100개와 200개일 때의 시뮬레이션 결과

실내의 채널 환경을 NLOS와 LOS 모두 고려하여 무선 측위를 실행하였을 때에 평균 위치 오차는 실내 노드가 100개 일 때 6.7167미터, 200개 일 때 6.7203미터로 노드의 밀도에 따른 차이는 보이지 않는 것을 확인할 수 있었다. 실내의 노드 개수를 다르게 하여 시뮬레이션해보아도 이 값은 크게 변하지 않았다. 이는 실내 채널의 상태에 따라 평균 위치 오차가 영향을 받고 있기 때문이다. 실내 채널의 RMS delay spread 값이 작아지면 평균 위치 오차는 작아지게 된다. 실내의 NLOS에서 평균 거리오차가 8.22미터임을 가정하였으므로 각각의 노드들이 두 노드의 사이 거리를 계산할 때 8.22미터를 빼주어 위치 계산을 하였을 때 평균 위치 오차가 4.4438미터로 유의미하게 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이는 실내의 채널 환경을 정확하게 측정하여 무선 측위 계산 시 적용해 준다면 정확도 향상에 도움이 될 수 있다는 결과를 보여준다. 또한 실내의 노드의 밀도가 증가하게 되면 주변 노드들을 이용하여 빠르게 위치 계산을 할 수 있다는 것도 보여주고 있다. 이 방법은 유동 인구가 많은 실내 장소에서 효율적으로 적용될 수 있음을 시사한다.

3. 결론

이 논문에서는 실내의 무선 측위를 위해 외부에 존재하는 GPS 기능을 지닌 단말기를 이용하는 방법을 제안하였다. 이 방법의 장점으로는 보급되어 있는 무선 단말기를 이용하기 때문에 별도의 물리적 장치가 필요 없고 유동인구가 많은 곳에서 더 나은 무선 측위 성능을 발휘하는 점이 있다. 시뮬레이션 결과 5미터 내외의 평균 측위 오차가 발생하여 다른 방식에 비해 정확한 결과를 보여주고 있는 것을 확인할 수 있다. 실내 채널 환경에 대한 정확한 분석과 이 방법을 적용하기 위한 MAC layer에서의 규격이 정해지면 실제로 상용화하는 데 큰 어려움이 없으리라 생각된다.

시뮬레이션에서는 각각의 단말기의 위치가 고정되어 있다고 가정하였는데 이들이 보행자 속도로 움직이는 상황을 고려해보면 실제로 더 가까운 시스템모델이 될 것이다.

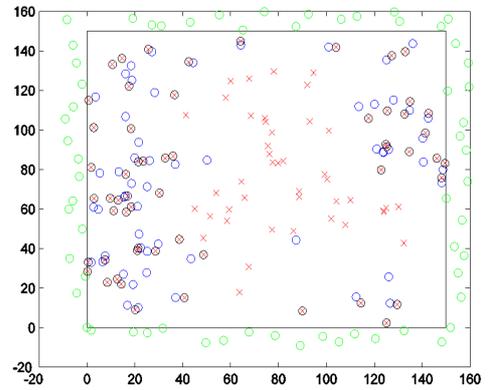


그림 2 실내의 터미널 개수가 100개일 때의 무선 측위 결과

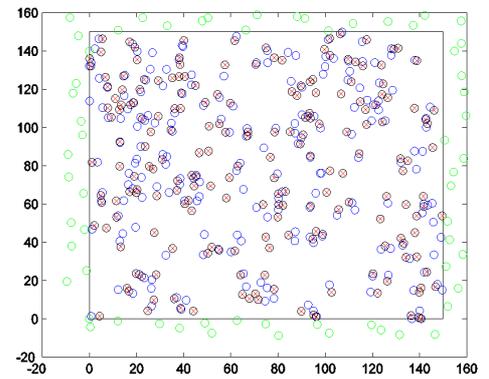


그림 3 실내의 터미널 개수가 200개일 때의 무선 측위 결과

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 서울시 산학연 협력사업(JP091007)과 한국 학술진흥재단(MOEHRD, KRF-2008-314-D00287) 지원 아래 수행된 연구입니다.

참고 문헌

- [1] Jani Jarvinen, Javier DeSalas, Jimmy LaMance "Assisted GPS: A Low-Infrastructure Approach", GPS World, March 1, 2002.
- [2] 조영수, 조성윤, 김병두, 이성호, 김재철, 최완식 "실내의 연속측위 기술 동향", 전자통신동향분석 제 22권 제 3호 2007년 6월.
- [3] Yilin Zhao, "Standardization of Mobile Phone Positioning for 3G Systems", IEEE Communications Magazine, July 2002.
- [4] Neal Patwari, Joshua N.Ash, Spyros Kyperountas, Alfred O. Hero III, Randolph L. Moses, and Neiyer S. Correal, "Locating the Nodes", IEEE Signal Processing Magazine, July 2005.
- [5] Yibin Yu, Gui Wang, Zuoquan Li and Changbing Li, "Alternating Combination Trilateration for Unknown Nodes of Sensor Networks", IEEE International Conference on Control and Automation, June 1, 2007.
- [6] Haibing Yang, Peter F.M. Smulders and Matti H.A.J Herben, "Indoor Channel Measurements and Analysis in the Frequency Bands 2GHz and 60GHz", Radio Communications Group.