

논문 2011-48TC-2-11

무선 측위 기술 조사 및 분석

(Wireless Localization Technology Survey and Analysis)

김 정 태*

(Chong Tae Kim)

요 약

물체의 위치정보는 많은 응용분야에 매우 유용한 요소를 제공한다. 현재 GPS가 이를 위하여 일반화되어 있으나, GPS의 실내측위, 비용 및 전력소모 등의 한계성을 극복하기 위해 최근 이동통신 망, 무선 센서 망 및 ad hoc 네트워크를 이용한 무선 측위 기술에 대한 연구가 활발한 진행되고 있다. 따라서 본고에서는 무선망에서 구현이 가능한 대표적인 무선 측위 기술들을 조사하고 이들의 측위 원리와 성능을 연구자료 들을 토대로 분석하였다. 결론적으로, 무선 측위 기술의 선택은 측위환경, 정확도, 소요시간, 계산 양, 구현의 용이성 등의 설계요소로부터 응용분야에 가장 적합한 요소들을 고려하여야 하겠다.

Abstract

Localization information of an object can be a very useful element for many application areas. Presently, GPS is typically used for it, but many researches on the wireless localization technology are going on recently actively using mobile communication network, wireless sensor network, and ad hoc network in order to overcome the limitations of the GPS such as indoor, cost, power consumption, and etc. Therefore, this article surveys the most representative wireless localization techniques, which can be deployed in the wireless networks, and their principles and performances are analyzed based on the researched papers. In a conclusion, selection of a localization technique should consider the key design elements to a given application from the design elements such as localization environment, accuracy, time to fix, computation amount, implementation ease, and etc.

Keywords : 측위, 무선 측위, 무선 네트워크, 위치정보, GPS

I. 서 론

측위란 실내외의 무선 네트워크, 센서 망, 또는 ad hoc 네트워크를 이용하여 사람 및 물체의 물리적인 위치를 결정하는 과정이다. 물체의 위치정보는 많은 응용 분야에 매우 유용하고 필수적인 역할을 수행한다. 사용자 추적, 물체 추적, 위치인지 및 상황인지 등의 응용 분야는 위치 정보가 가능 할 때 개인의 보호 및 안전 관리, 사용자 인터페이스, 행동에 따른 상황인지 등을 위한 판단을 내릴 수 있다. 또한, 특정지역으로 또는 특정 지역으로부터 중계되는 데이터의 라우팅 분야에도

위치정보는 필수적이다. 지금까지 많은 연구들이 위치 응용을 위한 서비스 구조의 개발에 치중되어 왔으나 기본적으로 핵심인 측위 문제는 기술측면, 구현 측면 등의 어려움으로 많은 관심을 받지 못 하였다. 때문에, 글로벌 측위 위성시스템인 GPS가 위치정보가 필요한 다양한 상용서비스에 일반적으로 광범위하게 사용되고 있다. 하지만 GPS는 대체로 실내에서 측위가 어렵고 가격과 전력소모도 높아 저 가격의 긴 수명이 요구되는 분야나 실내 응용에는 많은 한계점이 따른다. 또 다른 기술로 적외선 측위 시스템이 있으나 주로 단 거리의 응용과 가시성(Line-of-Sight)가 확보되는 영역에 그치는 단점이 있다. 따라서 이러한 한계점들을 대체하기 위한 측위 기술의 필요성이 대두 되었고 최근 활발한 연구가 진행되고 있다.

* 정회원, 한국과학기술정보연구원
(ReSEAT, Korea Institute of Science and
Technology Information)

접수일자: 2010년4월30일, 수정완료일: 2011년2월17일

현재 가장 주목 받는 대체 기술로 RF 등의 무선 신호를 이용한 방법이 대두되고 있고, 최근 무선 네트워크의 측위 기술에 대한 다양한 연구들이 보고되고 있다. 무선 측위 기술은 측위 범위가 타 기술에 비해 넓고 가시성도 필요치 않는 기술적인 우수성과 기존 무선 네트워크나 센서 망 또는 ad hoc 네트워크를 이용하는 구현상의 장점이 있다. 무선 측위의 단점으로는 주위환경의 영향과 물체와 고정 국 사이의 거리가 멀수록 정확도가 낮아지는 점이 있다.

본고는 무선 네트워크에서 구현이 가능한 대표적이고 신뢰성 있는 무선 측위 기술들을 조사하고 각 기술의 실험 결과를 인용하여 성능을 분석하고자 한다. 본고의 구성은 II장에서 측위 기술들과 이들의 측위 원리에 대하여 설명하고, III장은 최근 진행된 각 측위법의 실험 결과를 제시하고 성능을 분석한다. 마지막 IV장에서는 결론과 앞으로의 연구과제들을 제시한다.

II. 무선 측위 기술

1. Received Signal Strength Indicator (RSSI)

RSSI 기술은 위치가 추정되는 물체가 주변의 고정 국들로부터 신호를 수신한 후 신호의 세기를 측정, 이를 다시 고정 국으로 전송하는 RSSI 패킷에 의존한다. 측위는 RSSI 값과 주변의 환경모델을 이용하여 실행된다. 이 방법은 비교적 구현이 쉬운 장점은 있으나 신호 세기에 따른 측위법으로 다중경로, 페이딩, 트랜스미버의 캘리브레이션 문제 등의 변수들로 인해 높은 정확도를 기대하기 어려운 단점이 있다. 구현은 RSSI 값이 물체가 송신한 신호에 대한 것인지, 고정 국들이 송신한 신호에 대한 것인지에 따라 위치계산을 물체에서나 고정 국에서 수행한다.

RSSI 기술을 자동차 주차장에 주차된 차량의 위치를 파악하는데 이용한 시스템이 있다.^[1] 차량 내 앞 거울에 태양광 전지의 RFID 태그(tag) 카드를 설치하고 이를 RFID 리더 역할의 고정 국들이 읽는 무선 센서 망구조를 하고 있다. 태그는 sleep and wake 모드로 동작하며 필요 시 고정 국들이 송신하는 신호의 세기를 측정, RSSI 패킷을 송신한다. 고정 국들은 이 RSSI를 중앙 통제 국으로 전송하고 중앙 통제 국은 RSSI 값들과 차량의 ID, 고정 국들의 ID 및 위치들을 이용하여 삼각측정법을 수행, 주차장 내에서의 차량 위치를 추정한다.

2. Time of Arrival (ToA)

ToA 측위법은 송신기로부터 다 수의 수신기들까지 전송되는 신호의 전달시간을 측정, 위치를 추정한다. 3개 이상의 수신기가 송신신호의 도착시간을 측정하여 거리를 계산하고 이를 이용하여 multilateration 방법으로 송신기의 위치를 추정한다. ToA 방법은 송신기와 수신기의 동기화가 요구되며, 전송주파수에 따라 측정되는 시간의 정확도가 달라진다.

ToA 측위법으로 실내에서 40KHz의 초음파 신호를 이용하였다.^[2] 수신기는 송신하는 초음파 신호의 도착시간을 측정하여 둘 사이의 거리를 수식 (1)로 계산한다.

$$l_u = v_s \times \left(t_p - \sum_{i=1}^n d_i \right) \quad (1)$$

v_s 는 실내에서의 소리 속도, t_p 는 수신신호의 샘플링 시작부터 피크 신호가 나타나는 시간, d_i 는 수신기 i 의 처리 지연시간, l_u 는 송신기와 수신기 사이의 거리이다. 송신기의 좌표를 (u, v, w) , 평면으로 설치된 수신기의 좌표를 $(x, y, 0)$ 라 하면, 송신기의 위치는 수식 (2)에 의해 3개의 수신기가 제공하는 거리정보를 이용하여 계산할 수 있다.

$$l^2 = (x - u)^2 + (y - v)^2 + w^2 \quad (2)$$

3. Time Difference of Arrival (TDoA)

TDoA 측위법은 송신기로부터 다 수의 수신기들까지 전송되는 신호의 전달시간 차를 측정하는 3개 이상의 수신기를 이용하여 multilateration 방법으로 위치를 추정한다.

TDoA 측위법은 전달시간의 차를 측정하는 방법에 따라 크게 두 가지로 분류한다. 첫 번째는 이동 국의 신호가 가장 근접한 고정 국과 인접 고정 국들에 전달되는 전달시간의 차이를 이용하는 방법이다. 만일 3개 이상의 고정 국이 측정에 포함된다면, 이동 국의 위치는 수식 (3)의 함수를 이용하여 계산된다.

$$R_{ij} = \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2} - \sqrt{(x_j - x_m)^2 + (y_j - y_m)^2} \quad (3)$$

R_{ij} 는 이동 국으로부터 고정 국 i 와 j 의 거리 차, x_i 와 y_i 는 고정 국 i 의 좌표, x_m 과 y_m 은 이동 국의 좌표를 나타낸다. 이 방법은 이동 국과 고정 국간의 동기화는 필요치 않지만, 고정 국들의 동기는 필요하다.

두 번째 방법은 주파수가 다른 두 신호를 송신기에서 동시에 전송하여 수신기에 도착하는 시간의 차이를 거리로 환산, multilateration 방법을 이용하여 위치를 추정하는 방법을 쓴다. 이 방법은 동일 송신기에서 전송되는 두 신호의 시간차는 송신기와 수신기 간과 수신기들 간의 어떤 시각 동기도 필요하진 않지만 실제로 동시에 두 신호를 송신하는 구현의 어려움에 대한 오차의 보정은 필요하다.

RF와 초음파의 두 신호를 사용한 TDoA 측위 시스템으로 Cricket Location-Support System (CLS)이 있다.^[3] CLS는 현재 상용화되어 있는 실내 측위 시스템이다. CLS는 고정 국들이 두 주파수의 비콘 신호를 송신하면 이동 국이 이를 수신, TDoA를 계산하여 위치를 추정한다.

4. Angle of Arrival (AoA)

AoA는 고정 국이 일정한 각속도 ω 로 회전하는 방향 빔의 RF 신호를 연속적으로 전송하고, 이동 국이 신호의 수신시간을 감지하여 고정 국에 대한 자신의 방위각을 측정하는 원리이다. 3개 이상의 고정 국을 이용하여 삼각측정법으로 위치를 추정한다. 이 방법은 항공분야에 널리 이용하고 있으나 지상시스템으로는 다중경로의 영향으로 현재까지 사용이 상당히 제한적이다.

AoA 기술의 원리가 그림 1에 묘사되어 있다.^[4] BN-1, BN-2, BN-3, BN-4는 4개의 고정 국을, 각 고정 국이 전송하는 방향 빔은 서로 ϕ 도의 일정한 각도로 분리되어 있으며 일정한 각속도 ω 로 회전한다. 이동 국은 고정 국들로부터 빔 신호를 수신하여 전달시간을 측정, 이들의 시간차를 구하고 이를 수식 (4)에 의해 α, β, δ 의 각도로 변환한다.

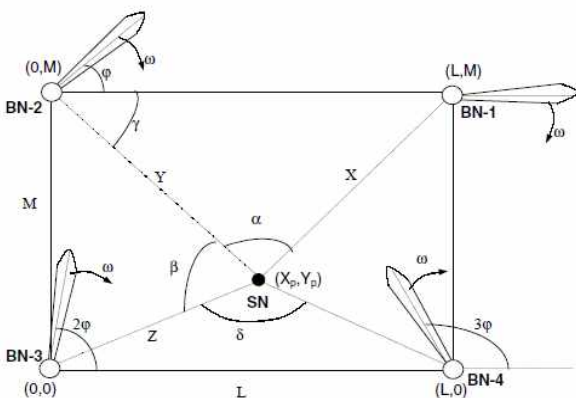


그림 1. AoA 기술의 원리
Fig. 1. Principles of AoA technique.

$$\begin{aligned} \alpha &= \phi - \omega\tau_1 \\ \beta &= \phi - \omega\tau_2 \\ \delta &= \phi - \omega\tau_3 \end{aligned} \tag{4}$$

수식에서, $\tau_1=t_2-t_1, \tau_2=t_3-t_2, \tau_3=t_4-t_3$ 이며 t_1, t_2, t_3, t_4 는 이동 국이 고정 국 BN-1, BN-2, BN-3, BN-4로부터 수신하는 빔 신호의 도착시간이다.

이동 국의 위치는 3개의 각도 α, β, δ 중 두 값을 취하여 삼각함수를 이용하여 구한다. α 와 β 두 값을 이용하면,

$$\begin{aligned} \gamma &= \arctan \frac{\cos(\beta) - S\sin(\alpha)}{S\cos(\alpha) - \sin(\beta)} \\ Y &= L \frac{\sin(\gamma - \alpha)}{\sin(\alpha)} \end{aligned} \tag{5}$$

수식에서 $S=L\sin(\beta)/M\sin(\alpha)$ 이며 L과 M은 그림 1에 묘사된 바와 같이 두 고정 국 사이의 x축과 y축 거리이다. 이동 국의 위치는 수식 (6)으로 주어진다.

$$\begin{aligned} X_p &= Y\cos(\gamma) \\ Y_p &= M - Y(\gamma) \end{aligned} \tag{6}$$

AoA 측위법은 방향 빔의 빔 폭으로 인하여 자신을 통과하는 빔 중앙에 정확한 시간을 추정하기 어려운 점이 있다. 따라서 수신신호의 세기가 최대가 될 때를 빔 중앙으로 결정하여 빔 폭에 의한 오차를 줄이는 방식을 채택하곤 한다. 또 다른 문제는 주변 물체들의 반사 신호이다. 이 또한, 반사파를 포함한 수신 신호들의 모든 가능한 조합을 구하여 위치들을 계산하고, 이들 값들을 비교하여 중복되는 공통된 한 점을 구함으로써 오차를 줄일 수 있다.

5. Radio Interferometric Positioning

두 개의 송신기가 매우 근접한 다른 주파수의 신호를 동시에 전송하면 수신기에 수신되는 합성 신호는 저주파 형태를 가지는 원리를 이용하여, 이 저주파 신호의 위상 변이를 측정, 송신기의 도플러 변이를 구함으로써 위치를 추정하는 측위법이다.^[5] 정확도는 수신기에서 얼마나 정확하게 위상변이를 측정하는가에 좌우된다.

송신기가 일정한 속도와 회전 반경으로 회전하는 안테나를 이용하여 주파수 f의 정현파를 송신하면, 고정 위치에 있는 수신기는 도플러 효과에 의해 송신기의 변화하는 주파수를 연속적으로 관찰하게 된다. 도플러 변

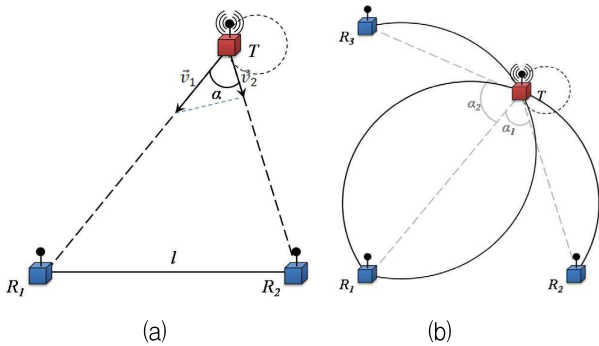


그림 2. Radio interferometry positioning 기술 원리
Fig. 2. Principle of radio interferometry technique.

이의 크기는 송신 주파수와 송신기와 수신기 간 순간 상대속도에 좌우되어 높은 주파수의 신호로는 작은 도플러 변이를 측정하기 매우 어렵다. 때문에 Radio interferometric positioning 방법은 임의의 고정된 장소에 위치하여 주파수 $f - f_1$ 의 정현파를 송신하는 제 2의 송신기를 이용한다. 보통 f_1 의 값은 1kHz 이하로 설정한다. 수신기는 도플러 변이를 가지는 주파수 f_1 의 중첩 (superposition) 신호를 수신하며, 도플러 변이는 하나의 송신기 안테나의 회전에 의해 발생하는 도플러 변이의 크기와 동일하다.^[6]

그림 2의 (a)에서 수신기 R_1 과 R_2 는 송신기 T에 대하여 속도 벡터 v_1 과 v_2 를 가진다. R_1 과 R_2 는 수신 신호의 도플러 변이를 관찰하고 두 개의 속도 벡터 v_1 과 v_2 를 측정, 식 (7)에 의해 송신기와 두 수신기가 형성하는 각도 α 를 얻는다. 다음, R_1 , R_2 와 송신기 T가 원주 위에 놓이는 원의 반지름 r 을 수식 (8)을 이용하여 구한다. 식에서 l 은 R_1 과 R_2 사이의 거리이다.

$$\alpha = \arccos (v_2 / v_1) \tag{7}$$

$$r = l / 2 \sin(\alpha) \tag{8}$$

같은 방법으로 그림 2 (b)의 수신기 R_3 과 R_1 이 송신기 T와 형성하는 각도 α_2 를 구하고, R_1 , R_3 과 T가 놓이는 원의 반지름 r_2 를 구하면 송신기 T의 위치는 그림에 묘사된 것과 같이 두 원의 교차점으로 나타난다.

Radio interferometric positioning은 시간에 따라 변화하는 주파수 변이의 정확한 측정이 필수이며 변화정도는 안테나의 각속도, 회전 반경, 송신기와 수신기 사이의 거리에 달려 있다. 주된 단점으로는 다중경로 전파와 거리가 상당히 멀 경우 위치오차가 커질 수 있다.

6. RF Fingerprinting

RF fingerprinting 방법은 RF 신호는 수신하는 위치에 따라 독특한 전파특성을 가진다는 원리에 근거하여 위치에 따른 지역의 전파지도를 구축하여 실시간 수신되는 신호를 이에 비교함으로써 위치를 구하는 RF 패턴 매칭 기법이다. 전파지도는 사용자의 위치에 따른 신호 세기와 신호 대 잡음비(SNR)를 포함하며, 사용자의 방향에 따른 신호 세기의 변화를 지도안에 포함할 수도 있다.^[7] 한 특정지역의 RF 전파 지도를 선 구축하여 측위에 사용하므로 이 기술의 핵심단계는 지역 RF 지도 형성을 위한 데이터 수집 단계로 볼 수 있다.

데이터 수집은 먼저 동기화된 시각 t 를 가지는 기지국(BS)이 자신의 신호를 수신하는 이동국의 수신신호 세기(SS) 측정값을 (t, BS, SS) 형태로 기록한다. 이동국은 시각 t 와 일치하는 사용자 좌표 (x,y) 나 이동국이 바라보고 있는 방향(동,서,남,북)이 가미된 (t,x,y,d) 를 형성한다. 다음, 동기화된 시각정보 t 를 이용하여 수집된 정보를 (x,y,d,SS_i,SNR_i) 형태의 통합된 DB로 만든다. i 는 기지국 1, 2, 3, ... 을 나타낸다. 측위에 사용되는 RF DB는 각 기지국의 (x,y,d) 에 대한 신호세기의 평균, 표준편차, 중간 값을 구하여 구축한다. 측위방법은 지역 기지국의 RF DB와 수신되는 신호를 비교하여 가장 일치하는 위치 (x,y) 를 결정한다.

주된 단점으로는 지역 RF DB를 구축하는데 상당한 노력이 소요되며, 기지국이 이동하거나 주변 환경 등의 지역 환경이 변화할 때마다 데이터 수집 과정이 반복적으로 수행되어야 하는 번거로움이 있다. 대안으로, 실내나 실외의 특정 영역에 대한 수학적 전파 모델을 도출하여 RF DB를 생성하는 방법이 있으나 이 경우 신뢰할 수 있는 모델링이 필수적이다.

III. 실험 및 분석

ToA 방법을 75m³ 크기의 실내에서 40KHz 초음파 신호를 16개의 수신기가 수신하는 구조로 실험하였다.^[2]

실험결과가 그림 3에 주어져 있다. 그림에서, x축은 위치오차를 y축은 위치오차의 확률을 누적분포로 나타낸다. 나타난 바와 같이, 측위에 포함되는 각 수신기들이 수신하는 raw 데이터를 사용한 위치오차가 14cm 이하가 될 확률이 95%, 10 번 측정된 값의 평균값을 이용한 위치오차가 약 8cm 안에 들 확률이 95%로 나타남을 볼 수 있다. 오차의 주된 원인은 한정된 수신기 개수

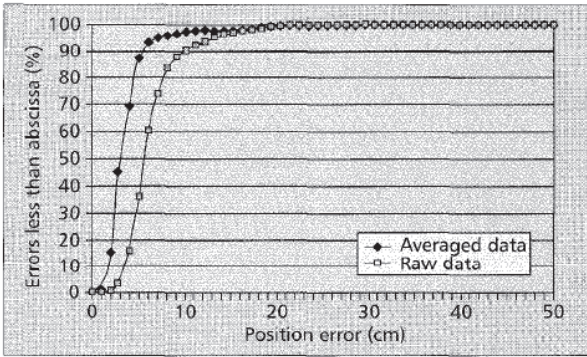


그림 3. 초음파 ToA 시스템의 누적 위치 오차
Fig. 3. Cumulated probability of position error of ultrasonic ToA system.

와 수신기 내부의 잡음으로 분석되었다. 만일 초음파가 아닌 RF와 같은 고주파의 측위신호를 사용한다면 위치의 정확도를 개선할 수 있다.

실험에는 추정위치의 오차를 줄이기 위하여 측정값으로부터 실제 측위에 이용되는 값들을 골라내는 데이터 처리에도 적지 않는 노력이 필요하였다. 먼저, 측정된 두 수신기 간의 거리 차이가 실제 거리 차이보다 클 때 그 값을 제외하였으며, 다음 다중경로 신호를 측정하는 수신기의 개수는 작다고 가정하는 Studentized residuals^[8]의 통계적인 시험방법을 채용하여 측정값들의 variance가 허용치 밑으로 떨어질 때까지 또는 오직 3개의 값이 남을 때까지 측정값들을 반복적으로 비교하여 측정값을 선별하였다.

TDoA 측위법을 실험하였다. 실험은 먼저 하나의 송신신호가 두 고정 국에 수신되는 시간의 차를 이용하는 일반적인 TDoA 방법을 실행하였다. cdma2000 이동 통신망을 이용하여 아파트가 밀집된 서울의 한 지역을 골라 실시하였다.^[9] 단말기가 서비스기지국에 보내는 Pilot Strength Measurement Message (PSMM)에 포함되는 Pilot PN phase의 Pilot_arrival을 이용하였다. 단말기가 오직 서비스기지국에 동기 되어 운용되는 CDMA 네트워크에서 Pilot_arrival은 단말기의 기준 시간에 상대적으로 측정되는 주변 각 기지국 Pilot의 단말기 도착시간을 나타냄으로 Pilot_arrival은 서비스기지국에 대한 주변기지국 신호의 TDoA를 나타낸다. 또한, 단말기의 동기누적구간으로 1020 chip을 설정하였다.

그림 4에 묘사된바와 같이 다중경로에 대한 보상이 없고, 단말기 searcher의 용해도가 0.5chip 임에도 50% 이상의 추정위치 ‘●’가 실제위치 ‘▲’ 주변에 포진하고 있었다. 이를 통하여, searcher의 용해도를 0.5chip 이하

로 줄이면 오차를 줄일 수 있고, searcher의 동기누적구간을 증가함으로써 셀 내 위치추정영역의 확장을 가져올 수 있다는 결론을 가질 수 있다. 하지만 현재의 네트워크 구조에서 측위기능의 어려움을 볼 수 있었다.

● 위치추정값, ▲ GPS 측정값

초음파와 RF 두 신호를 이용하는 TDoA 방법을 Cricket 비콘을 사용하여 12x6 ft 크기의 실내에서 실험하였다.^[3] 이동 국과 고정 비콘 간의 거리 측정 오차는 둘 사이의 거리가 커질수록 증가하였으나 거리 오차 비율(실제 거리에 대한 측정 오차의 비)은 모든 경우에 10% 이하로 나타났다. 위치추정은 정지와 이동하는 경우로 분리하여 실시하였다. 그 결과, 정지된 경우 9.22cm의 평균 제곱 위치 오차를, 이동하는 경우에는 속도가 올라갈수록, 회진과 같은 복잡성이 증가할수록 정확도가 저하되어 허용치를 넘는 것으로 나타났다. 즉, 보행속도 이상의 이동 물체의 추적에는 한계성을 보였다. 이는 다 수의 비콘을 사용하여 개선될 수 있다.

AoA 기법의 실험은 75x75m 영역을 설정하여 컴퓨터 모의시험을 수행하였다.^[4] 다중경로가 없다고 가정하여 이동 국과 고정 국 사이의 거리와 방향 범 폭에 대한 위치오차가 그림 5에 주어져 있다. 그림에서 x축은 이동 국과 고정 국 사이의 거리를 meter로, y축은 거리에서의 위치오차를 meter로 나타낸다. 또한, 위 그래프부터 아래로 범 폭이 각각 15, 10, 0도 일 때의 위치오차를 나타낸다. 그림에서, 이동 국이 고정 국으로부터 4분의 3 이내의 거리에 있을 때 위치오차는 2m 이내로 유지되었으나 그 이상의 거리에서는 오차가 가파르게

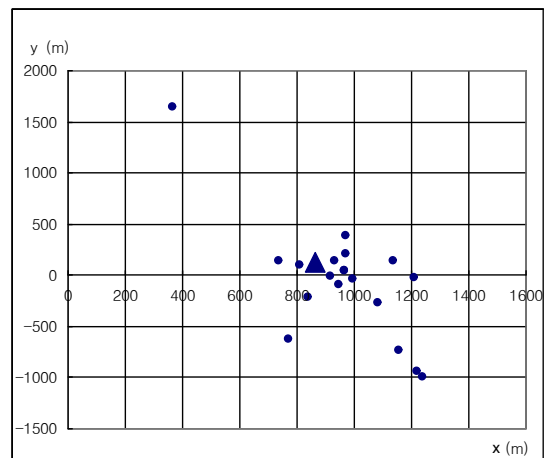


그림 4. cdma2000 TDoA 측위 실험 결과
Fig. 4. TDoA localization results of cdma2000.

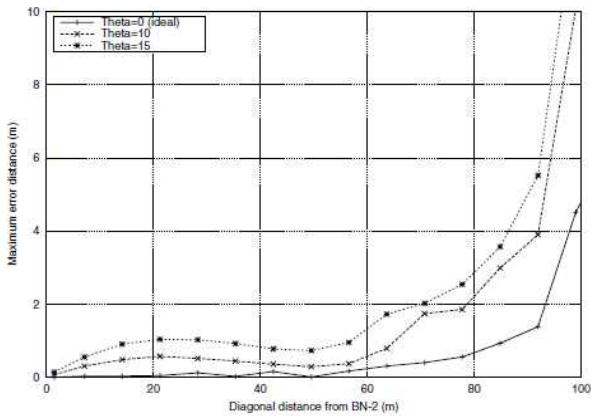


그림 5. 거리와 빔 폭에 대한 위치오차
Fig. 5. Position error by distance and beam width.

상승함을 볼 수 있다. 즉, 고정 국이 이동 국으로부터 멀어질수록 AoA 각도의 정확성이 저하됨을 의미한다. 이동 국이 고정 국으로부터 4분에 3 이내의 거리에서 빔 폭이 0, 10, 15 도 일 때 각각 0.5m, 1.8m, 2m 이내의 위치오차를 보여주고 있다. 결과적으로, 이동 국이 가장 가까운 3개의 고정 국으로부터 신호를 수신하고 빔 폭이 15도 이하 일 때 최대 위치오차는 2m 이하로 한정됨을 나타내고 있다.

AoA 방법의 다중경로 영향을 관찰하기 위하여 직접 신호와 함께 2개의 다중경로 신호가 수신되는 경우를 실험하였다. 다중경로 신호의 수신 시간의 차는 균일 확률 분포로 가정하였다. 위치추정은 한 조의 3개 고정 국을 선택하여 다중경로로 인한 $3^3=27$ 개의 위치를 계산하고, 다른 조합의 3개 고정 국으로부터도 마찬가지로 27개의 위치를 계산하였다. 그 결과, 전체 계산 값으로부터 정확한 위치를 나타내는 중복되는 한 점 외에는 다른 모든 계산 점들이 넓게 분산되어 나타났다. 결과적으로, 반사파가 존재할 경우, 가능한 모든 3개 조합을 이용하여 위치를 계산하고, 결과를 서로 비교함으로써 위치오차가 최소화될 수 있음을 볼 수 있다. 하지만 소요되는 계산 양은 다중경로 개수의 증가와 함께 기하급수적으로 증가한다.

Radio Interferometric Positioning의 실험은 실내의 20x20m의 크기를 가정하여 모의실험 하였다.^[6] 두 주파수로 430MHz와 431MHz를 사용하였으며, 431MHz의 신호는 각 속도 45RPM($\omega=4.71\text{rad/s}$)과 회전반경 0.12m로 회전하는 경우를 설정하였다.

실험결과, 송신기가 어느 하나의 수신기에 매우 근접해 있을 때와 송신기가 두 수신기를 연결하는 선 위에

있을 때 몇 세 수신기들의 위치로 만들어지는 원의 원주 위에 있을 때 위치오차가 크게 발생하였다. 전자의 원인은 계산되는 각도들 중 적어도 하나의 값이 π 에 근접하여 매우 큰 원을 만들기 때문으로 분석되며, 후자의 원인은 계산된 반지름들로 원을 그리는 Centroiding 방법이 하나의 독특한 교차점을 만들지 못하고 서로 겹쳐져 불확실한 영역을 만들기 때문으로 분석된다. 이 경우, 잡음이 없는 경우 최대 위치 오차로 5.5 m가 발생되었으며, 표준편차로 최대 도플러 변이의 6%의 zero-mean Gaussian 잡음이 있는 경우 11.69m의 최대 오차가 발생하였다. 실험 결과로부터, 측정에 다수의 수신기를 포함하여, 사각지대를 제거한 3개 수신기 조합을 측위에 사용함으로써 위치오차를 최소화할 수 있음을 볼 수 있다. 아울러 설계 시, 위상변이 측정값의 정확성은 안테나의 각속도와 회전 반경 및 수신기와의 거리에도 좌우됨을 고려하여야 한다.

RF Fingerprinting 방법은 43.5x22.5m 공간의 실내에서 2.4 GHz ISM 대역의 신호를 이용하여 실험하였다.^[7]

실험에서 측위방법은 네 가지 방법으로 분류하여 실시하였다. 첫째, 가장 근접 기지국 한 곳에서 일치하는 신호세기를 찾는 방법에서 상위 25%, 50%, 75% 값의 위치오차가 각각 1.92, 2.94, 4.79m로 나타났다. 둘째, 첫째방법의 DB에 가장 근접한 5개의 기지국들을 이용하여 추정 값의 평균을 취하는 방법을 채용하니, 상위 25%와 50% 값의 위치오차는 각각 1.5m와 2.79m로 나타났다. 이는첫째 방법보다 각각 22%와 9% 개선됨을 보여준다. 셋째, 사용자의 동, 서, 남, 북 네 방향에서 기지국으로 송신되는 4개의 신호 중 가장 큰 신호세기를 골라 RF DB를 구축하고 가장 근접 기지국만 위치추정에 사용하니, 상위 25%와 50%의 위치 오차가 첫째방법보다 각각 6%와 9%가 개선된 1.8m와 2.67m로 나타났다. 마지막으로, 셋째방법의 DB에 2~4 개의 근접 기지국들을 사용하여 평균을 취하였더니 실제 위치에 가장 근접한 위치를 추정하였다. 이 때, 상위 25%와 50%의 위치오차가 첫째방법보다 각각 48%와 28%가 개선된 1m와 2.13m로 나타났다. 그러나 많은 기지국들을 포함하면 실제 위치보다 많이 떨어진 값들이 평균 계산에 포함되어 정확도가 가파르게 저하됨을 볼 수 있었다.

이동하는 물체를 추적하는 경우를 위해 10 샘플 sliding window를 이용한 평균 신호세기의 DB를 구축하여 실험 한 결과, 고정의 경우보다 약간 저하되어 나타났다. 50%의 오차가 첫째방법보다 약 19% 저하된

3.5m로 나타났다. 그러므로 RF Fingerprinting 측위법은 RF DB의 구축을 단순화하기 위하여 주변 환경의 큰 변화가 없는 실내 또는 실외의 주차장 등 한정된 좁은 지역에서 고정물체의 측위를 위한 방법으로 고려해 볼 수 있을 것이다.

IV. 결 론

무선 네트워크에서 구현이 가능한 대표적인 무선 측위 기술들을 조사하고 실험을 통하여 성능을 분석하였다. 대부분의 방법들이 사각지대의 제거, 다중경로의 영향 최소화, 오차의 개선 등을 위하여 측위방법에 필요한 이상의 수신국 개수를 요구하고 있다. 이에 따라 구축비용의 증가, 계산 양의 증가, 데이터 처리의 복잡성 등 방법의 구현에 많은 부담을 부과한다. 또한, 정지된 물체의 위치추정에는 비교적 허용할만한 정확도를 제공하지만 이동 체에 대한 성능은 만족스럽지 못하다. 더불어, 이동속도가 증가할수록, 회전과 같이 이동의 복잡성이 증가할수록 정확도는 더욱 저하된다. 그러므로 적절한 측위방법의 선택은 측위환경, 정확도, 소요시간, 데이터 처리 구조 및 계산 양, 구현의 용이성, 저 비용 등 많은 설계요소로부터 주어진 응용분야에 상응하는 핵심 요소들을 우선 고려하여야 한다.

앞으로 무선 측위 기술의 발전과 실현을 위하여 앞에서 언급한 설계요소들을 고려한 각 기술의 성능분석이 실내외의 다양한 환경에서 좀 더 광범위한 규모로 진행되어야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] R. Vyas, V. Lakafosis, N. Chaisilwattana, Z. Konstas, and M. M. Tentzeris, "Design and characterization of a novel battery-less, solar powered wireless tag for enhanced-range remote tracking applications," Proc. of European Microwave Conf., pp. 169-172, Rome, Italy, Sept. 2009.
- [2] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper, "A new location technique for the active office," IEEE Personal Communications., vol. 4, no. 5, pp. 42 - 47, Oct. 1997.
- [3] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location-support system," Proc. 6th Int. Conf. Mobile Computing

and Networking (ACM Mobicom), pp. 32 - 43, Boston, USA, 2000.

- [4] A. Nasipuri and K. Li, "A directionality based location discovery scheme for wireless sensor networks," Proc. of 1st ACM Int. Workshop Sensor Networks and Application (WSNA), pp. 105 - 111, Atlanta, USA, Sept. 2002.
- [5] A. Ledeczi, P. Volgyesi, J. Sallai, and R. Thibodeaux. "A novel rf ranging method", Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES 2008), July 2008.
- [6] János Sallai, Péter Völgyesi, and Ákos Lédeczi, "Radio interferometric quasi doppler bearing estimation", Proc. of the 2009 International Conference on Information Processing in Sensor Networks, pp 325-336, San Francisco, USA, Apr. 2009.
- [7] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF based user location and tracking system," Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 775 - 784, Tel-Aviv, Israel, 2000.
- [8] S. Glantz and B. Slinker, Primer of Applied Regression and Analysis of Variance, McGraw-Hill, 1990.
- [9] 김정태, 서덕영, "TDoA 위치추정기법에서의 단말기 searcher의 영향," 한국통신학회논문지, 제24권 제7A호, 1022-1027쪽, 1999년 7월

저 자 소 개



김 정 태(정회원)

1984년 Georgia Tech, EE
학사 졸업

1985년 Georgia Tech, EE
석사 졸업

2000년 경희대학교 전자공학과
박사 졸업

1985년~1992년 Lockheed-Martin 선임연구원

1992년~2000년 삼성전자 수석연구원

2000년~2002년 와이어리스테크 연구소장

2003년~2007년 France Telecom R&D Seoul
대표

2001년~현재 한국항공대학교 겸임교수

2010년~현재 KISTI ReSEAT 전문연구위원

<주관심분야 : 무선접속, 이동통신, 위성통신, 무
선측위, Navigation>