

# 실내용 비행 로봇을 위한 3차원 측위 방법 3D Localization Method for Indoor Flying Robot

조국, 신진옥, 강민성, 손웅희, 박상덕

Kuk Cho(googi33@kitech.re.kr), JinOk Shin, Min-Sung Kang, Woonghee Shon, and Sangdeok Park

한국생산기술연구원 융복합기술연구본부 로봇기술연구부

Key words : localization, indoor flying robot, newton-raphson, ultrasonic, RF, UAV

## 1. 서론

위치 인식은 자율 주행 로봇의 문제점 중의 하나이다. 많은 사람들은 이 문제를 해결하기 위해 연구하여 왔다. 크게 응용 분야에 따라 실내용과 실외용으로 구분된다. GPS나 LORAN와 같은 실외용으로 절대 위치를 제공하여 주는 시스템이 있다 [1]. 실내용의 위치 측위 방법으로는 다양한 방법이 존재한다. 특히 거리를 측정 할 수 있는 센서를 이용하여 많은 시도들이 이루어 졌다. RF의 신호 강도, PSD, 초음파, 적외선 등등 다양한 방법들이 존재한다[2-5]. 각각의 방법들은 환경과 응용 분야에 따라 각기 다른 특성을 가지고 있기 때문에 상황에 따라 적절하게 사용해야 한다. 마이크로소프트사, 캠브리지 대학교와 AT&T사에서는 RF 신호강도와 초음파, 적외선 등을 이용한 방법을 연구하여왔다. 그 외에도 LRF나 카메라 등을 이용한 위치 측정 방법들이 사용되었다. 본 논문에서는 초음파와 RF 센서를 이용한 실내용 비행 로봇을 위한 3차원 측위 방법을 설명하겠다. 2장에서는 시스템의 개념을 설명하고, 3장에서는 시스템 알고리즘을 설명한다. 마지막으로 실험 결과를 보여주도록 한다.

## 2. 시스템 디자인

UPS (Ultrasonic Positioning System)은 한 개의 송신부와 서버 그리고 여러 개의 수신부로 구성되어 있다. 각각의 송수신 노드는 초음파 센서의 송수신기에 따라 결정되어 진다. 한 번의 위치 추정 과정은 네 단계를 거친다. 첫 번째 부분에서는 서버가 송수신 노드에게 RF를 이용하여 동기화를 시킨다. 두 번째 부분에서는 수신기에서 초음파를 발사 시킨다. 세 번째 부분에서는 수신기 노드에서 초음파 신호를 받은 다음에 처음에 받은 RF 신호와의 차를 계산하여서 송수신기간의 거리를 추정한다. 그리고 추정된 거리 값을 서버로 RF를 통하여 전송하여 준다. 마지막으로 서버에서는 각각의 송수신기간의 거리를 수렴하여 알고리즘을 통하여 송신기의 위치를 추정한다.

## 3. 시스템 디자인

로봇의 위치를 추정하기 위해, 의사거리( $\rho$ )를 측정은 송신기의 위치 벡터( $X_t$ )와 수신기의 위치 벡터( $X_r$ )를 사용하여 아래의 수식과 같이 표현 된다.

$$\rho = \| X_r - X_t \| + e \quad (1)$$

$e$ 는 초음파 거리 측정 에러 값이다. 우리는 초음파 거리 측정 값의 에러는 작고 충분히 거리 측정에 영향을 미치지 않는다고 가정하였다. 식 (1)을 각각의 센서노드로부터 받아서 정리를 하게 되면 비선형 방정식으로 다시 표현된다. 추정된 위치까지의 거리를 표현하는 방정식은 아래와 같다.

$$\rho = \sqrt{(x_r - x_t)^2 + (y_r - y_t)^2 + (z_r - z_t)^2} \quad (2)$$

$$\hat{\rho} = \sqrt{(x_r - \hat{x}_t)^2 + (y_r - \hat{y}_t)^2 + (z_r - \hat{z}_t)^2} \quad (3)$$

식 (1)을 다시 정리 하면 식 (2)와 같이 정리 된다. 식 (3)은 추정 로봇 위치의 근사 거리를 구한 식이다. 로봇의 위치는 근사 위치와 점진적인 위치로 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} x_t &= \hat{x}_t + \Delta x_t \\ y_t &= \hat{y}_t + \Delta y_t \\ z_t &= \hat{z}_t + \Delta z_t \end{aligned} \quad (4)$$

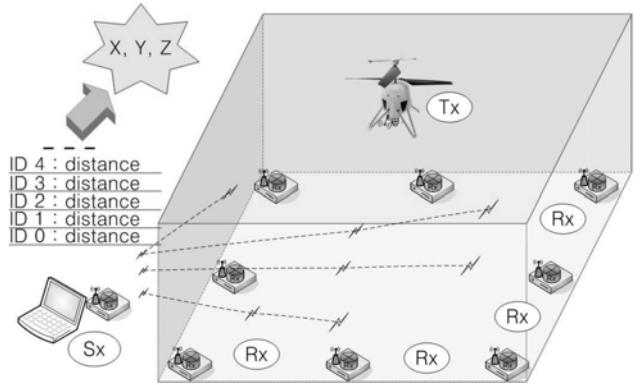


그림 1. The UPS Concept. : Tx, Rx and Sx is respectively a transmitter, receiver, and server. The transmitter is attached to the indoor flying robot. The receivers are installed on the floor and wall. The sever is on an user.

위 식에서  $x_t, y_t, z_t$ 는 실제 수신기의 위치를 나타내고,  $\hat{x}_t, \hat{y}_t, \hat{z}_t$  로봇의 추정 위치를 나타낸다.  $\Delta x_t, \Delta y_t, \Delta z_t$ 는 이동 값들이다. 위 식은 Taylor Series에 의해서 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} f(\hat{x}_t + \Delta x_t, \hat{y}_t + \Delta y_t, \hat{z}_t + \Delta z_t) &= f(\hat{x}_t, \hat{y}_t, \hat{z}_t) \\ &+ \frac{\partial f(\hat{x}_t, \hat{y}_t, \hat{z}_t)}{\partial \hat{x}_t} \Delta x_t + \frac{\partial f(\hat{x}_t, \hat{y}_t, \hat{z}_t)}{\partial \hat{y}_t} \Delta y_t + \frac{\partial f(\hat{x}_t, \hat{y}_t, \hat{z}_t)}{\partial \hat{z}_t} \Delta z_t + \dots \quad (5) \end{aligned}$$

위 식에서 첫 번째 편미분 함수 다음의 비선형 식들을 제어하여 주면 아래와 같이 재정의 될 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(\hat{x}_t, \hat{y}_t, \hat{z}_t)}{\partial \hat{x}_t} &= -\frac{x_i - \hat{x}_t}{\hat{l}_t} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_t, \hat{y}_t, \hat{z}_t)}{\partial \hat{y}_t} &= -\frac{y_i - \hat{y}_t}{\hat{l}_t} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_t, \hat{y}_t, \hat{z}_t)}{\partial \hat{z}_t} &= -\frac{z_i - \hat{z}_t}{\hat{l}_t} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,

$$\hat{l}_t = \sqrt{(x_i - \hat{x}_t)^2 + (y_i - \hat{y}_t)^2 + (z_i - \hat{z}_t)^2}$$

이고  $x_i, y_i, z_i$ 는 각각 I번째 송신기들의 위치이다.

$$\hat{\rho} - \rho = \frac{x_i - \hat{x}_t}{\hat{l}_t} \Delta x_t + \frac{y_i - \hat{y}_t}{\hat{l}_t} \Delta y_t + \frac{z_i - \hat{z}_t}{\hat{l}_t} \Delta z_t \quad (7)$$

마지막으로 획득되는 수식은 아래와 같다

$$\Delta X = H^{-1} \Delta \rho \quad (8)$$

초음파는 멀티패스가 발생하고, 장애물이 있을 경우 실제 거리 보다 더 길게 나오는 경우가 발생한다. 그러한 부정확한 정보를 가지고 위치를 추정할 경우 정확한 실제 로봇의 위치를 추정할 수 없다. 따라서, 부정확한 의사거리를 추출한 수신기 노드를 찾아서 제거하는 알고리즘이 필요하다. 따라서 시스템을 강인하

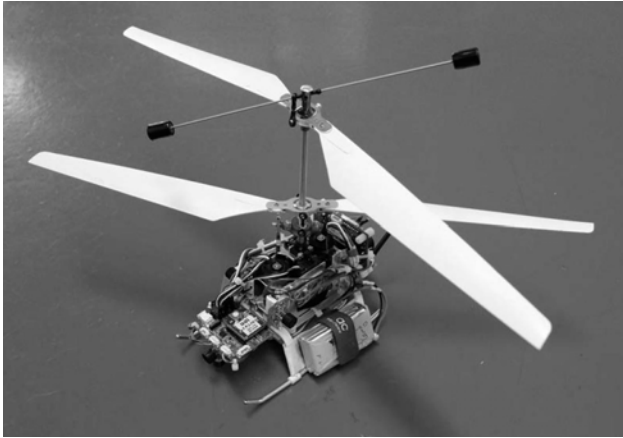


그림 2. The Indoor Flying Robot. It is a coaxial-flying robot which has a micro-controller, IMU, a UPS transmitter, and a communication device. The ultrasonic transmitter sensors are attached to all sides of the robot's body.

기 하기 위한 *sigma-cutting* 방법을 제안한다. 측정된 거리 값들의 오차를 추정하기 위한 식은 아래와 같다

$$e_i = \| p_i - m_i \| \quad (9)$$

위 식에서  $e_i, p_i, m_i$ 은 각각  $i$ 번째의 수신기의 에러와 의사거리, 정해진 위치로부터 계산된 거리의 차를 통하여서 에러를 추정할 수 있다. 따라서 에러가 가장 큰 것과 일정한 영역으로 에러가 안정 될 수 있도록 한다.

### 3. 실험 결과 및 결론

그림 2와 같은 실내용 비행 로봇을 이용하여 위치를 추정하고 그 추정되는 과정을 그림3과 그림4로 보여진다. 실내용 비행로봇은 dsPIC 마이크로 컨트롤러와 IMU(Inertia Measurement Unit), BLDC 모터와 모터 드라이버, UPS 수신기, 통신 모듈을 탑재하고 있다. 로봇의 길이는 45cm이고 동축 반전 타입의 비행체이다. 10분정도의 비행시간을 가지고 있다. UPS 시스템은 20Hz정도의 응답속도를 가지고 있고, 2cm RMS 에러를 가지고 있다. 그림 3과 같이 초음파로부터 들어오는 값들을 로봇의 현재의 정확한 위치를 추정하고, 그림 4와 같이 sigma-cutting 방법에 따라서 위치 값들이 정밀해 짐을 확인 할수 있다.

본 논문에서는 초음파 센서와 RF 통신을 응용하여 실내 감시용 비행 로봇에 장착할 수 있는 위치 인식 시스템에 대하여 살펴보았다. 이 시스템은 능동형 방식으로 초음파 송신부는 비행 로봇 기체에 부착하고 수신 부는 바닥 및 벽에 설치하여 RF 동기신호에 따라 초음파 신호를 보내어주면 각 수신 노드에서 거리 값을 산출하여 송신부로 다시 보내어 주어 각각의 거리 값을 이용하여 비행 로봇의 위치를 산출한다. 이와 같은 방법으로 초음파 위치 인식 시스템(UPS : Ultrasonic Positioning System)을 개발하였다. 이 시스템을 장착한 실내 감시용 비행로봇은 비교적 넓은 실내 공간에서 각종 보안 감시 및 재난 사항 파악 등 다양한 분야에서 응용될 수 있다. 이 시스템은 차후 고성능 프로세서를 사용하여 계산 시간으로 생기는 지연을 줄이면 강인하고 빠른 응답속도를 가질 수 있도록 연구되어야 한다.

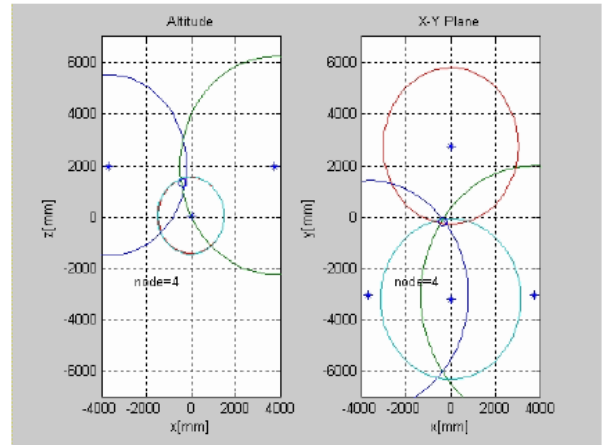


그림 3. Position Estimation.

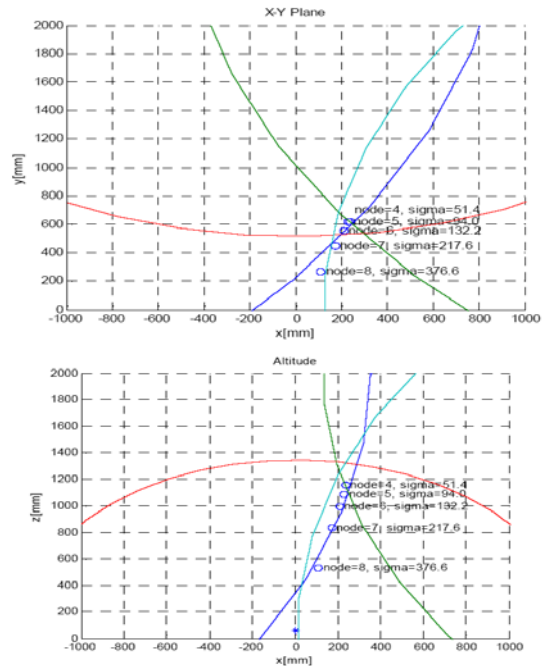


그림 4. Position Estimation Process It is shown the process of sigma-cutting depending on node number and result value, sigma error value.

### 후기

본 연구는 지식경제부의 재난극복과제로 지원을 받아 연구가 이루어 졌습니다.

### 참고문헌

1. I. Getting, "The Global Positioning System", *IEEE Spectrum*, vol. 30, no. 12, pp. 36-47, Dec. 1993.
2. P. Bahl and V. Padmanabham, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System.", in *Proc. IEEE INFOCOM*, Tel-Aviv, 2000, pp. 775-785.
3. R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, "The Active Badge Location System", *ACM Transactions on information Systems* 10, 1 (January 1992) 91-102.
4. A. Harter, A. Hopper, P. Steggle, A. Ward, and P. Webster. " The Anatomy of a context-aware application." In *Proc. 5th Annu. Int. Conf. on Mobile Computing and Networking*, Aug. 1999, pp 59-68.
5. Yutaka Yamamoto, Paolo Pirjanian, Joe Brown, Mario Munich, Enrico Dibernardo, Luis Goncalves, Jim ostrowski and Niklas Karlsson, "Optical Sensing for Robot Perception and Localization", *Advanced Robotics and its Social Impacts, IEEE Workshop on Pasadena, CA, USA, 12-15 June 2005.*