

비가시선(NLOS) 환경에서 ETOA 알고리즘을 이용한 실내 위치 추적 시스템 구현

준회원 강 경 식*, 최 광 석**

Implementation of Indoor Location Tracking System Using ETOA Algorithm in Non-Line-Of-Sight Environment

Kyeong-sik Kang*, Goang-seog Choi** Associate Members

요 약

다양한 실내 위치 추적 기술들이 제안되고 있다. 일반적으로 TOA(Time of Arrival)신호를 활용한 실내 위치 추적 시에는 건물 내의 다양한 장애물들에 의해 전파의 굴절, 반사, 분산 등에 의해 위치 추적이 어렵다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 NLOS(Non-Line-Of-Sight) 환경에서 ETOA(Estimation-TOA) 알고리즘을 적용한다. ETOA 알고리즘은 실내의 NLOS 환경이 발생한 해당 Beacon과의 TOA 값을 추측항법을 통해 TOA 값을 예측하는 알고리즘이다. 본 알고리즘을 이용하게 되면 삼각측량법을 사용하는 위치추적 시 3개의 노드 중 최대 2개의 노드가 NLOS가 발생하더라도 정확도 있는 위치 추적이 가능하다. 본 논문에서는 ETOA 알고리즘을 실내 이동로봇에 적용하고 로봇내의 관성센서와 칼만 필터를 이용함으로써 정확한 위치 추적을 할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : 실내위치추적, 추측항법, 칼만필터, NLOS, ETOA

ABSTRACT

Many indoor location tracking technologies have been proposed. Generally indoor location tracking using TOA signal is used, there is a weak point that it's difficult to track the location due to obstacles like a refraction, reflection and dispersion of radio wave. In this paper, we apply ETOA(Estimated-TOA) algorithm in NLOS(Non-Line-Of-Sight) environment to solve above problem. In NLOS environment, TOA value between Beacon and Mobile node is predicted by ETOA algorithm and the tracking of indoor location is also possible to identify using two NLOS beacons of three beacons by this algorithm. We show that the proposed algorithm is accurate location tracking is accomplished using the applying the proposed algorithm to indoor moving robot and the inertia sensor of robot and Kalman filter algorithm.

I. 서 론

Ubiquitous 시대로 진입하면서 위치 추적 기술은 다양한 서비스를 제공하기 위한 중요한 기술로 매

김하고 있다. 실내 위치 기반 서비스는 개인 또는 사물의 위치를 제공하게 되므로 다양한 실내 서비스에 적용 할 수 있다. 대표적인 예를 들자면 스마트 홈 시스템과 재난 상황과 같은 응급 상황 시 조

※ 본 연구는 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 학술진흥재단(KRF-2008-331-D00403)의 지원을 받아 수행되었습니다.

* 조선대학교 정보통신공학과 SoC설계실습실 (sadfencer@gmail.com)

** 조선대학교 정보통신공학과 (gschoigs@chosun.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-12-598, 접수일자 : 2011년 12월 2일, 최종논문접수일자 : 2012년 3월 5일

난자를 구출하기 위한 방법, 대형 마트나 물류 창고에서 해당 물건을 찾아가는 방법 등의 여러 다양한 분야에 활용 되어질 수 있다. 현재의 위치 추적에 가장 대표적인 시스템으로 GPS (Global Positioning System)가 있다. GPS는 위성에서 보내는 신호가 사용자의 단말기의 리시버에서 수신하는 시간차를 이용하여 위치 추적을 수행한다. 하지만 GPS와 같은 경우, 실내와 같이 밀폐된 환경에 진입하게 되면 GPS 신호가 매우 미약해지고 오차로 인해 GPS를 이용하여 실내에서 위치를 추적하기에는 무리가 있다.

이에 다양한 매체를 이용한 실내 위치 추적 시스템이 제시되었다. 현재 실내 위치 추적을 수행하는 대표적인 시스템들로는, 초음파를 이용한 Cricket System[4]과 Active Bat[7] 등이 있고, 적외선을 이용한 Active Badge[5]가 있으며, IEEE 802.11 또는 ISM (Industrial, Scientific and Medical)대역의 무선 RF(Radio Frequency)를 이용하는 RADAR[6]와 3D-ID 등의 시스템들이 개발 되었다.

각 시스템들의 특징으로 먼저 적외선을 이용한 Active Badge는 시스템이 단순하여 저 비용의 시스템 구축이 가능하지만 정확한 위치를 파악할 수 없으며 빛의 영향을 많이 받는다. 둘째로 IEEE 802.11을 이용하는 방식 중에 RADAR 방식은 무선 랜의 RSSI(Receive Signal Strength indicator)를 이용하기 때문에 정확한 위치 추적이 불가능하고 또한 IEEE 802.11 장치를 내장해야 하기 때문에 작은 장치에서 적용이 불가능하다. 마지막으로 초음파를 이용한 Cricket System은 RF와 초음파의 전송차를 이용하여 TOA(Time Of Arrive) 값을 구하여 위치를 추적하는 기술로, LOS(Line-Of-Sight) 환경에서 최적의 환경 일 때 오차가 5cm 이하로 매우 작은 편이다. 하지만 RF와 초음파를 동시에 사용하므로 비용적인 부분과 NLOS (Non-Line-Of-Sight) 환경에서의 위치 추적이 매우 취약하다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 초음파 기반의 위치 추적 시스템을 구현한다. 초음파 기반 방식의 가장 큰 단점인 NLOS 환경에서의 부정확한 위치 좌표를 개선하기 위해 ETOA 알고리즘을 적용하였다. ETOA 알고리즘은 NLOS 환경에서 기존의 초음파만으로 측정된 TOA 값 대신에 관성센서로 측정된 추측방법을 이용하여 ETOA 값을 산출하여 LOS 환경의 Beacon간의 TOA 값과 융합함으로써 더욱 정확한 Mobile Node의 위치를 측정할 수 있었다. 또한 기존의 초음파기반의 위치추적 시

스템과 본 논문에서 제안한 알고리즘이 적용된 추적 시스템과의 성능 분석을 통하여 개선된 효과를 확인하였다.

II. 본 론

2.1. 관련 연구

2.1.1. 초음파 기반 실내 위치 추적 시스템의 예

(1) Cricket System

대표적인 초음파 위치 추적 시스템 중에 MIT에서 개발한 Cricket System이 있다. Cricket System의 구성으로는 천장에 설치 되어있는 비컨(Beacon)과 위치이동노드로 구성되어 있다. 비컨에서는 RF 및 초음파 신호를 방출하고, 비컨이 방출하는 신호는 이동 노드에서 수신하여 위치를 계산하게 된다. 위치를 감지하기 위한 방법으로, 먼저 비컨에서 초음파와 RF신호를 동시에 송신하게 된다. 신호를 수신한 이동 노드에서 초음파와 RF의 전송 차를 이용하여 비컨과 이동 노드 사이의 TOA를 측정 할 수 있다. TOA 값을 이용하여 각 노드간 거리를 구하게 되고 삼각측량법으로 이동노드의 좌표를 계산할 수 있다. Cricket System은 이동 노드에서 위치 정보를 연산하기 때문에 보안상 안전하다는 장점이 있다.^[3]

(2) Active Bat System

Active Bat System은 Cricket System과 동일하게 초음파 기반의 위치 추적시스템이다. Active Bat System의 구성으로는 비컨, 이동노드 그리고 시스템 서버로 구성되어 있다. 측정 방식은 Cricket System과 유사하지만 반대로 초음파 송신기가 이동 노드에, 수신기가 비컨에 설치되어 있다. 데이터를 시스템 서버에 수집하게 되므로 위치 정보를 시스템서버에서 관리하게 된다. 단말기의 위치 정보를 시스템 서버로 제공하게 되고 시스템 서버의 허락이 없는 한 이동 노드의 위치 정보를 확인 할 수 없는 특징을 가지고 있다.^[7]

2.1.2. 삼각측량기법

(1) TOA (Time-Of-Arrival)

실내의 비컨을 이용하여 이동하는 사물의 위치를 측정하기 위해서는, 먼저 실내에 부착된 비컨의 고정된 좌표와 비컨과 이동 노드간의 거리를 측정하여야 한다. 거리 측정 시 적외선, RF 등의 여러 매체가 있지만 거리 해상도가 가장 높은 방법은 초음파를 이용한 방법이다.

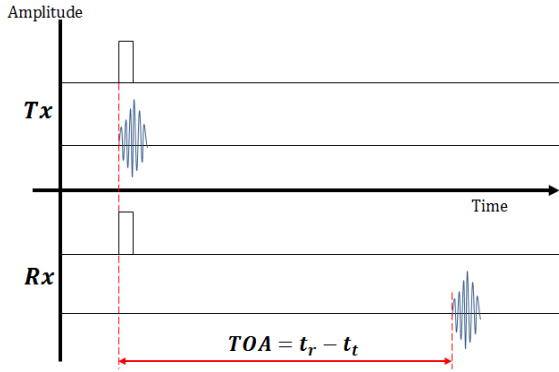


그림 1. 초음파 기반 거리 측정 방법
Fig. 1. Ultrasonic-based distance measurement method

초음파를 이용하여 거리를 측정하는 방법은 그림 1과 같이 송신부에서 RF 신호와 초음파 신호를 동시에 수신부에 전송함으로써 RF와 초음파의 각각의 신호에 대한 속도차를 이용하여 거리를 구할 수가 있다. 초음파의 전파 속도에 따른 거리를 구하는 수식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} TOA &= t_r - t_t \\ C &= 331.5 + 0.607147T[m/s] \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 신호가 수신된 시각(t_r)과 송신된 시각(t_t)의 차를 이용하여 초음파 속도(C)와 곱하게 되면 비컨과 수신기와의 거리를 구할 수가 있다. 초음파는 온도에 민감하므로 섭씨온도(T)를 포함하여 연산 한다. 초음파에 비해 RF의 전파속도는 $3 \times 10^8 m/s$ 로서 초음파에 비해 매우 빨라 두 신호를 이용하게 되면 거리를 측정하는 해상도가 높다.^[2]

(1) 삼각측량법

실내에서 이동 노드의 위치를 추적하는 기술 중 가장 대표적인 방법이 삼각측량법을 이용하여 위치를 추적하는 방법이다. 삼각측량법을 이용하여 위치 추위를 하기 위해서는 실내에 설치되어 있는 각각의 비컨의 고정좌표를 알고 있어야 한다. 그림 2와 같이 삼각측량법을 이용하여 위치를 측정하기 위해서는 최소 3개 이상의 비컨이 필요하다. 위치를 측정하는 원리는 각각의 비컨을 중심으로 반지름이 이동노드까지의 거리인 원을 그린다. 이 때 세원의 교차점이 이동노드의 위치 지점이 된다.^[2] 이동 노

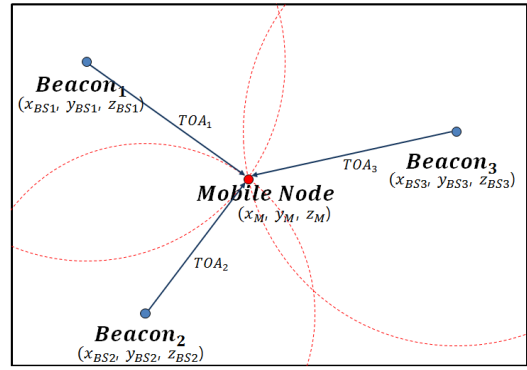


그림 2. 삼각측량의 기본 원리
Fig. 2. The basic principle of triangulation

드의 좌표(x_M, y_M, z_M)를 구하기 위한 작업으로, 먼저 각각의 비컨의 고정좌표 ($x_{BSx}, y_{BSx}, z_{BSx}$)와 측정된 TOA의 값으로 Pythagoras 이론을 이용하면 식(2)과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sqrt{(x_M - x_{BS1})^2 + (y_M - y_{BS1})^2 + (z_M - z_{BS1})^2} &= TOA_1 \\ \sqrt{(x_M - x_{BS2})^2 + (y_M - y_{BS2})^2 + (z_M - z_{BS2})^2} &= TOA_2 \\ \sqrt{(x_M - x_{BS3})^2 + (y_M - y_{BS3})^2 + (z_M - z_{BS3})^2} &= TOA_3 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} 2 \begin{bmatrix} (x_{BS2} - x_{BS1})(y_{BS2} - y_{BS1}) \\ (x_{BS3} - x_{BS1})(y_{BS3} - y_{BS1}) \\ (x_{BS3} - x_{BS2})(y_{BS3} - y_{BS2}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_M \\ y_M \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} (x_{BS2}^2 - x_{BS1}^2) + (y_{BS2}^2 - y_{BS1}^2) + (TOA_2^2 - TOA_1^2) \\ (x_{BS3}^2 - x_{BS1}^2) + (y_{BS3}^2 - y_{BS1}^2) + (TOA_3^2 - TOA_1^2) \\ (x_{BS3}^2 - x_{BS2}^2) + (y_{BS3}^2 - y_{BS2}^2) + (TOA_3^2 - TOA_2^2) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

이때 설치된 비컨들의 높이가 같고 이동 노드가 평면상에서만 이동하게 된다면 식(3)과 같은 행렬 형태로 재 정의 할 수 있다. 각각의 좌변 우변의 항을 A, B로 치환하고 의사 역행렬(pseudo inverse matrix)를 양변에 곱해주면 로봇의 위치 (x_M, y_M)을 식(4)와 같이 나타낼 수 있다. 이렇게 삼각측량법을 이용하면 이동 노드의 위치 (x_M, y_M)를 구할 수 있다.

$$A \begin{bmatrix} x_M \\ y_M \end{bmatrix} = B, \quad \begin{bmatrix} x_M \\ y_M \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (4)$$

2.3. 추측 항법

삼각측량법만으로 실내에서 위치를 추적하기에는

많은 어려움이 있다. 삼각측량법을 이용하기 위해서는 TOA값의 정확도가 높아야 이동 노드의 위치오차를 최소화 할 수 있다. 하지만 실내와 같은 경우 무수한 장애물로 인해 정확도 높은 TOA값을 측정하기가 매우 어렵다. 그래서 본 논문에서 이동 로봇의 자이로스코프(Gyroscope) 센서를 이용하여 이동 로봇의 회전각(Yaw)값을 구해 추측항법을 이용하여 상대 좌표를 추적하였다. 추측항법은 이동로봇의 현재의 위치를 결정하기 위해 이전의 위치와 방향의 변이를 측정하여 현재의 위치를 계산하는 방법이다.

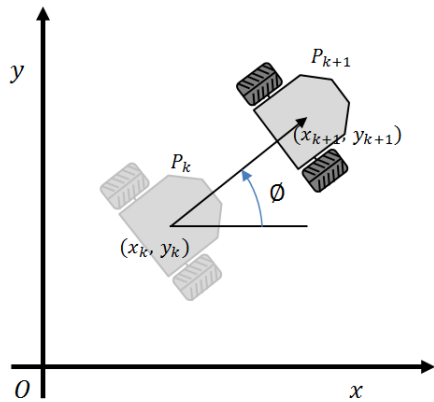


그림 3. 이동로봇의 추측항법
Fig. 3. The dead reckoning of mobile robot

그림 3은 이동로봇의 추측항법 개념도이다. 로봇이 P_k 지점에서 P_{k+1} 지점으로 이동할 때의 속도와 로봇이 회전할 때 자이로스코프 센서의 각속도 값을 이용하여 회전각을 측정하고, 식(5)와 같이 추측항법을 통해 로봇의 상대좌표를 구할 수 있다.

$$P_{k+1} = \begin{bmatrix} x_{k+1} \\ y_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_k + VT\cos\theta \\ y_k + VT\sin\theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 초음파의 전파속도가 느리기 때문에 비컨을 이용하여 위치를 추적할 때 데이터 샘플링 속도가 매우 느리다. 반면에 추측항법을 통해 센서의 값을 이용한 데이터는 샘플링 속도가 빠르기 때문에 센서 융합을 통해 이동 노드의 위치를 더욱 정확하게 표현 할 수 있다.^[12]

2.1.4. 칼만 필터

실제 시스템의 모든 상태를 정확히 예측 할 수 없기 때문에 잡음이 섞인 측정값을 이용하게 된다. 이러한 잡음을 확률변수로 취급하여 상태추정 오차의 기대 값이 최소가 되도록 상태변수를 추정하는

기법이다. 그림 4와 같이 칼만 필터는 예측단계와 추정단계로 나눌 수 있다. 예측단계에서는 가장 먼저 초기 값을 설정한 후 두 번째로 칼만 이득을 계산한다. 칼만 이득은 오차들의 가중치를 부여하기 위해 계산되고, 매 번 반복으로 수정되게 된다. 칼만 이득을 계산할 때는 시스템 행렬 H , 와 R 과 오차 공분산을 통해 구하는데, 이 때 오차는 정규분포를 따르는 것을 가정한다. 다음 단계로 입력된 측정값으로 추정 값을 계산한다. 마지막으로 오차 공분산을 구해 추정 값이 얼마나 정확함을 판단하게 된다. 본 논문에서는 이동로봇의 위치 추정에서 ETOA 알고리즘을 적용한 위치 데이터를 보정하는 작업에 사용된다.^[15]

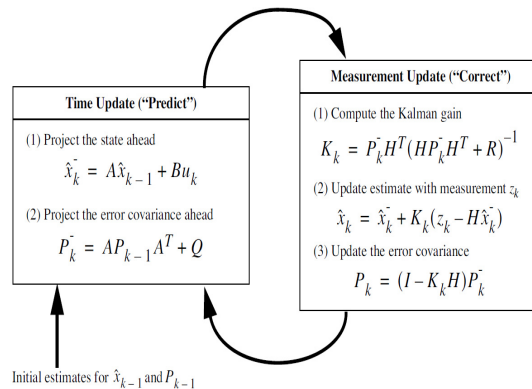


그림 4. 칼만 필터의 흐름도
Fig. 4. Flow diagram of Kalman filter

2.2. 제안하는 실내 위치 추적 알고리즘

2.2.1. ETOA 알고리즘

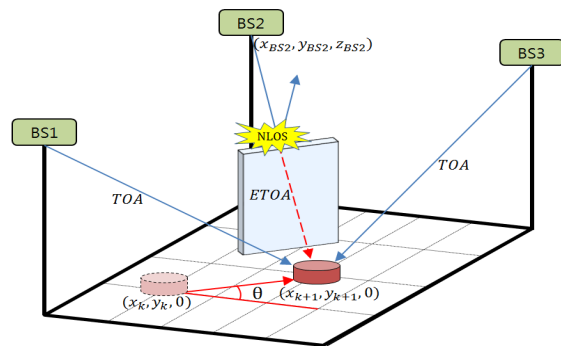


그림 5. Estimation-TOA 알고리즘 개념도
Fig. 5. The concept diagram of Estimation-TOA Algorithm

초음파 위치 추적 시스템은 초음파 대역의 신호

를 사용하기 때문에 장애물 투과 능력이 매우 취약하다. 이따라서 장애물이 많은 실내 환경에서 초음파를 이용한 실내 위치 추적시스템이 적용되기 힘들다는 점이 있다. 본 연구를 통해 실내의 NLOS 환경에서 더욱 정확도 높은 위치 추적을 하기 위해 ETOA 알고리즘을 적용하고 센서 융합과 칼만 필터를 이용하여 실내 이동노드의 위치를 추적하였다. 대부분의 위치 추적 알고리즘은 최소 3개의 비컨을 이용하여 이동 노드와의 거리를 연산해서 위치를 추적하는 삼각측량법이 많이 이용되고 있다. 하지만 삼각측량법은 그림 5와 같이 하나의 비컨과 이동 노드 사이에 NLOS환경이 발생한 경우, 정확도가 낮은 TOA값이 측정되게 되고 나머지 두 개의 TOA값이 정확도가 높을지라도 세 개의 값을 삼각측량 연산을 하게 되면, 얻어진 이동 노드의 위치데이터는 상당한 오차를 갖게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 ETOA 알고리즘을 적용한다. ETOA 알고리즘은 먼저 노드로부터 측정된 TOA값을 감지하여 NLOS 유무를 판단하게 된다. 만약 NLOS 환경이 발생하면, 해당 비컨과 이동 노드간의 TOA값을 사용하지 않고, 추측항법을 통해 얻어진 이동 노드 좌표를 이용하여, 다시 역으로 NLOS환경이 발생한 비컨과의 TOA값을 예측하는 알고리즘이다. 식(6)은 ETOA값을 구하는 수식이다.

$$ETOA = \sqrt{(x_{BSx} - x_{k+1})^2 + (y_{BSy} - y_{k+1})^2 + z_{BSz}^2} \quad (6)$$

식(6)에서 $x_{BSx}, y_{BSy}, z_{BSz}$ 는 NLOS환경이 발생한 비컨의 x, y, z 절대 좌표를 의미 한다.

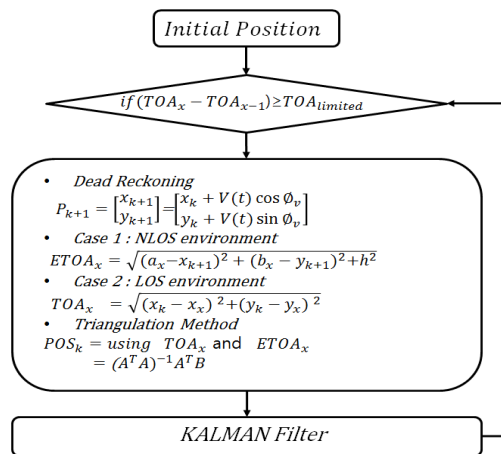


그림 6. Estimation-TOA를 이용한 위치추적 흐름도
Fig. 6. Flow diagram of location tracking using Estimation-TOA

추측항법을 통해 이전의 이동노드를 기준으로 하

여 측정된 상대좌표 x_{k+1}, y_{k+1} 를 식(6)을 통해 연산하게 되면 NLOS환경이 발생한 비컨과 이동노드간의 정확도 있는 TOA 값을 구할 수가 있다.

본 연구의 위치 추적의 전체적인 프로세스는 그림 6과 같다. 비컨과 이동 노드 간의 TOA를 측정하고 나서, 해당 TOA값의 신뢰도를 판별하기 위해 임계 값 측정 방식을 사용하였다. 임계값은 그림 7과 같이 최소임계값과 최대 임계값을 두고 측정된 TOA값이 임계값을 벗어나게 되면 NLOS 환경임을 감지하게 된다. 임계값은 로봇의 이동속도에 비례하며 식(7)과 같다.

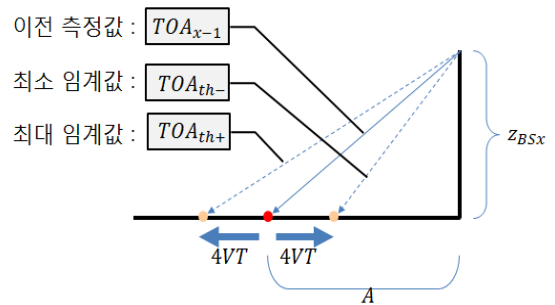


그림 7. ETOA알고리즘의 임계값 범위
Fig. 7. Threshold value range of ETOA algorithm

$$A = \sqrt{(TOA_{x-1})^2 - z_{BSx}^2}$$

$$TOA_{th+} = \sqrt{(A + 4VT)^2 + z_{BSx}^2} \quad (7)$$

$$TOA_{th-} = \sqrt{(A - 4VT)^2 + z_{BSx}^2}$$

$$TOA_{th-} \leq TOA_x \leq TOA_{th+}$$

각 노드에서 측정된 TOA값이 식(7)을 만족할 때 측정된 TOA데이터가 신뢰 있는 값이라 판단하고 이 값을 이용하여 삼각측량을 수행하게 된다. 만약 비컨에서 측정된 TOA 데이터가 식(7)을 만족하지 못하는 경우라면, 해당 비컨과의 TOA값만을 버리고 추측항법으로 구해진 좌표를 이용하여 식(6)을 이용하여 NLOS 상태의 비컨과의 ETOA 값을 측정하게 된다. 각 노드에서 측정된 TOA값이 식(7)을 만족할 때 측정된 TOA데이터가 신뢰 있는 값이라 판단하고 이 값을 이용하여 삼각측량을 수행하게 된다. 만약 비컨에서 측정된 TOA 데이터가 식(7)을 만족하지 못하는 경우라면, 해당 비컨과의 TOA값만을 버리고 추측항법으로 구해진 좌표를 이용하여 식(6)을 이용하여 NLOS 상태의 비컨과의 ETOA 값을 측정하게 된다.

III. 실험 환경 및 결과

실험환경은 그림 8과 같이 2.5m × 4.0m 환경의 실내에서 진행하였다. 비컨은 각각 모서리 네 지점에 높이 2m 지점에 설치하였고 소형 모바일 로봇을 제작하여 주행 중의 위치 추적을 실시하였다. 로봇 내에는 회전각 데이터를 추출하기 위해 자이로스코프, 컴퍼스 센서의 두 개의 관성센서(Inertial Sensor)가 내장되어 있고 실내 위치 추적을 하기 위해 초음파 수신기가 내장되어 있다.

그림 8에서 보이듯이 이동 로봇은 (500, 500), (500, 2000), (3650, 2000), (3650, 500)의 좌표를 직사각형을 그리며 이동 시켰다. 먼저 위의 실험 장소에서 장애물이 없는 LOS 환경에서 주행을 실시하고 임의의 장애물을 설치하여 NLOS 환경을 만들어 주행을 한 후의 위치 데이터를 출력해 보면 그림 9와 같다. 그림 9에서 초음파 위치 추적 시 LOS 환경에서는 (3700, 1900) 지점과 같은 측정 잡음을 제외하고 약 10cm 이내의 정확도를 유지하고 있다. 하지만 NLOS 환경에서 초음파가 실내의 장애물을 투과할 수 없기 때문에 위치 추적이 매우

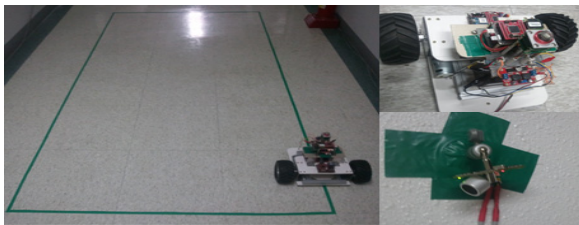


그림 8. 실험 환경
Fig. 8. Experiment environment

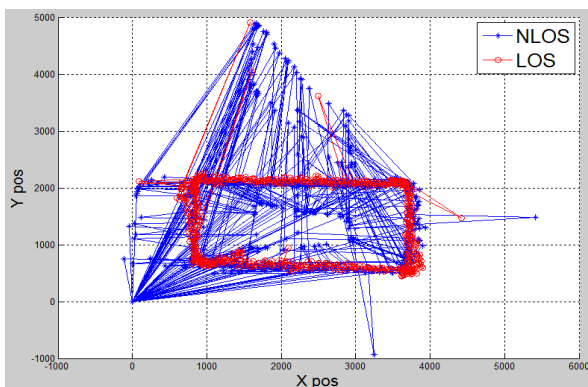


그림 9. 초음파 기반의 실내 위치 추적
Fig. 9. Ultrasonic-based indoor location tracking

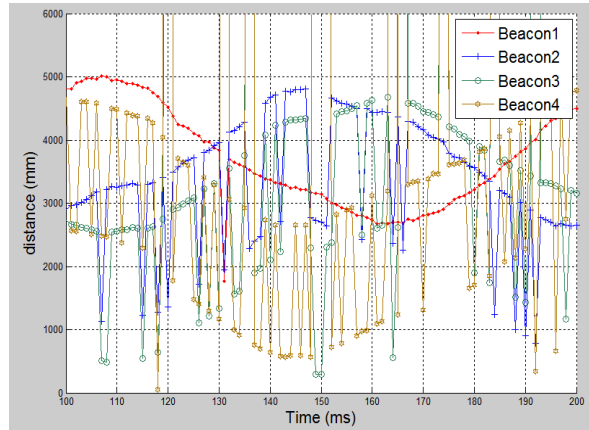


그림 10. NLOS 환경에서의 각 노드별 거리 데이터
Fig. 10. Distance data at each node in NLOS environment

어렵다는 것을 볼 수 있다. 이렇게 NLOS에서 측정된 각 비컨과 이동 노드간의 거리 데이터를 보면 그림 10와 같다. 그림 10에서 NLOS 환경일 때 데이터가 심하게 요동치는 것을 볼 수 있다. 하지만 비컨1과 같은 경우에는 대부분의 데이터가 다른 비컨에 비해 선형적인 움직임을 가지고

있어서 비컨1만 LOS 환경에서 측정된 데이터만을 유추할 수 있다. 하지만 다른 비컨들은 거리 오차가 1m 이상 발생하므로 위 데이터만을 이용하여 위치를 추적하기에는 무리가 있다. 이에 하나 이상의 비컨에서 NLOS 환경이 발생하더라도 ETOA 알고리즘을 적용하면, 비컨1과 같은 LOS 환경에서 측정된 거리 데이터를 사용할 수 있기 때문에 더욱 정확한 위치 추적을 할 수가 있다. 또한 그림 9에서 보는 것과 같이 LOS 상의 데이터도 시스템의 측정 잡음으로 인해 가끔씩 큰 오차가 발생하지만, 이러한 오차도 ETOA 알고리즘을 통해 제거할 수가 있다. 그리고 측정된 위치 데이터는 칼만 필터를 통해 더욱 선형적인 데이터를 출력할 수 있다. 그림 12는 추측방법을 통한 이동 노드의 좌표와 NLOS 환경에서의 위치 데이터이다. 먼저 관성센서를 이용하여 추측방법을 통해 얻어진 위치 데이터는 로봇의 이동 방향에 선형적인 데이터를 나타내지만 추측방법의 드리프트

현상으로 인해 추측방법만으로 장시간의 위치 추적이 불가능하다는 것을 볼 수 있다.

먼저 관성센서를 이용하여 추측방법을 통해 얻어진 위치 데이터는 로봇의 이동 방향에 선형적인 데이터를 나타내지만 추측방법의 드리프트 현상으로 인해 추측방법만으로 장시간의 위치 추적이 불가능

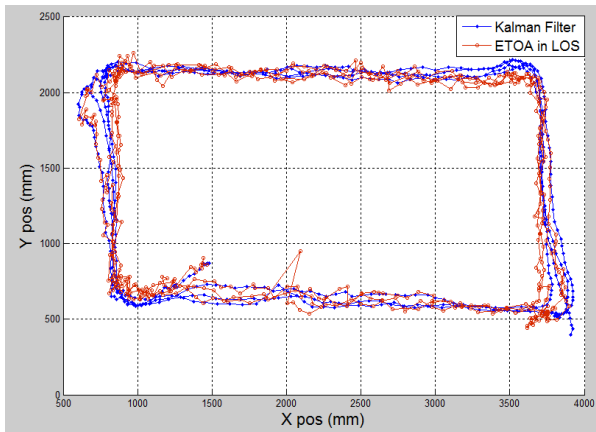


그림 11. LOS상의 ETOA알고리즘 적용 후의 실내 위치 추적
Fig. 11. Indoor location tracking by applying ETOA Algorithm in LOS environment

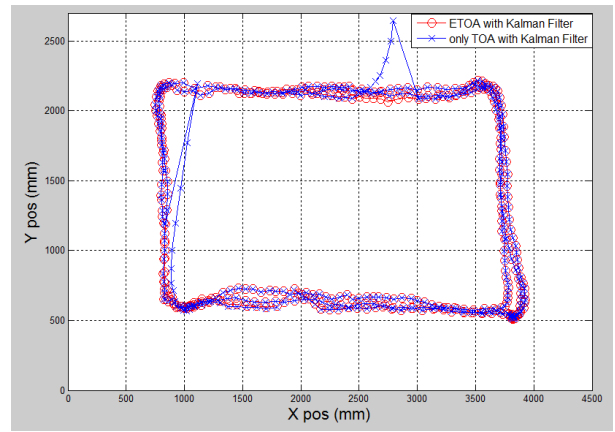


그림 14. LOS환경에서의 ETOA 성능 분석
Fig. 14. ETOA performance analysis in LOS environment

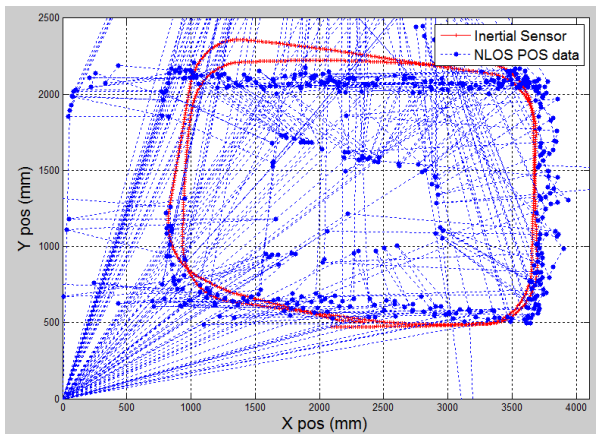


그림 12. NLOS환경에서의 실내 위치 추적 데이터
Fig. 12. Indoor location tracking data in NLOS environment

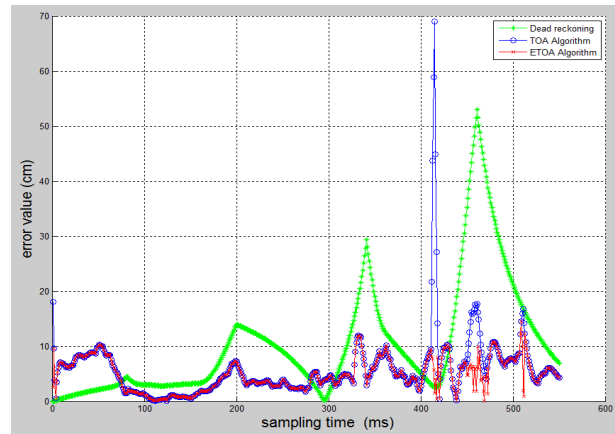


그림 15. LOS환경에서 ETOA 오차 분포도
Fig. 15. ETOA error distribution in LOS environment

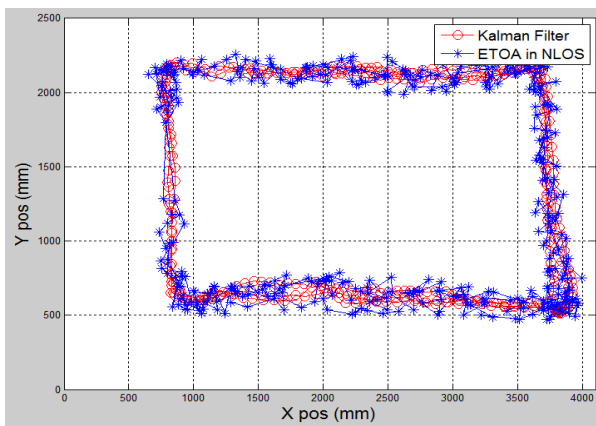


그림 13. NLOS환경에서 ETOA알고리즘을 적용한 실내 위치 데이터
Fig. 13. Indoor location tracking by applying ETOA Algorithm in NLOS environment

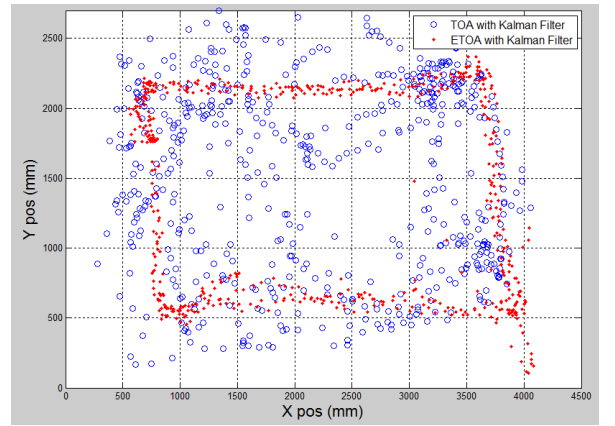


그림 16. NLOS환경에서의 ETOA 성능 분석
Fig. 16. ETOA performance analysis in NLOS environment

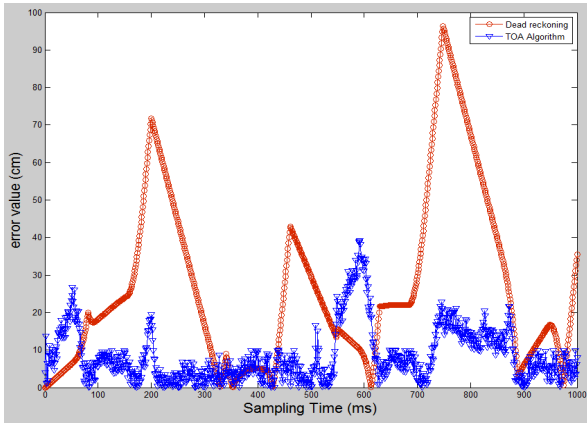


그림 17. NLOS 환경에서 ETOA 오차 분포도
Fig. 17. ETOA error distribution in NLOS environment

하디는 것을 볼 수 있다. 추측방법의 상대좌표를 이용하여 NLOS 환경에서 ETOA 알고리즘을 적용한 데이터는 그림 13과 같다. 그림 13을 보면 ETOA를 적용한 데이터는 일정 임계값 이하로만 위치 데이터가 측정되는 것을 볼 수 있다. 아무런 작업을 하지 않은 위치 데이터에 비해 매우 정확한 데이터가 출력되었다. 이를 칼만 필터를 이용하여 좀 더 선형화 작업을 시키자 NLOS 환경이 있는 공간에서도 이동 노드의 위치를 추적할 수 있었다.

LOS 환경에서의 ETOA 알고리즘의 성능분석은 그림 14와 같다. ETOA 알고리즘을 적용한 위치 데이터와 일반 TOA만을 이용한 위치 데이터와 비슷한 성능을 나타내었다. 그림 15의 LOS 환경에서 오차 분포도를 보면 ETOA 알고리즘이 시스템 측정 오류로 인한 오차 데이터까지 정정하는 것을 볼 수 있다. NLOS 환경에서의 ETOA 알고리즘의 성능 분석은 그림 16과 같다. 두 데이터 모두 칼만 필터를 적용하였지만 일반 TOA만을 이용하여 측정된 위치 데이터는 위치를 알아보기 매우 힘들다. 하지만 ETOA를 적용한 데이터는 상당히 정확한 위치 데이터를 측정 할 수가 있었다.

그림 17은 NLOS 환경에서 ETOA 알고리즘의 오차 분포도이다. NLOS 환경이 발생하게 되면 위성방식의 위치 추적이 힘들어지므로 추측방법의 데이터와 비교를 하였다. 위 그래프에서 보면 ETOA는 평균적으로 약 20cm의 오차를 가지고 있다. 반면에 추측방법은 이동노드가 LOS 환경에 노출되기 전까지 관성센서의 드리프트 현상으로 인해, 오차가 누적 되어서 급격한 오차 변화가 있는 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서 초음파 기반의 위치 추적 시스템의 취약점인 NLOS 환경에서의 위치 측정을 하기위해 ETOA 알고리즘을 적용하고 칼만 필터를 수행하여 더욱 정확한 위치를 측정하는 알고리즘을 제시하였다. ETOA 알고리즘은 기존의 삼각측량법에 필요한 데이터에 대한 신뢰도를 올려줌으로써, LOS 환경에서 시스템 잡음에 따른 위치데이터 오차를 개선하였다. 또한 초음파 기반의 위치 추적 시스템의 취약점인 NLOS 환경에서는, 약 66%이하의 NLOS 환경일 때 50%이상의 위치 데이터 오차를 개선하였다.

참 고 문 헌

- [1] Jongjin Park, donghwal Lee, Suyong Kim, Manhyung Lee, Youngsong Mun, "A Study on the Application of U-SAT System for the Indoor Positioning Technology of Ubiquitous Computing," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol 11, No. 8, August 2006
- [2] Jongjin Park, "A Study on the Ultrasonic Location Awareness System for the Ubiquitous Computing," *Soongsil Univ Ph.D. Dissertation*, August. 2006
- [3] Byungki Kim, Homin Jung, Jaebong Yoo, Wanyeon Lee, Chanyoung Park, "Design and Implementation of Cricket-based Location Tracking System," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 36, pp. 96-100, 2008
- [4] Nissanka B, Priyantha, Anit Chakraborty, Hari Balakrishnan, "The Cricket Location-Support system" *ACM MOBICOM*, pp.32-43, Aug. 2000.
- [5] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcão, Jonathan Gibbons, "The Active Badge Location System" *ACM Transactions on Information Systems*, 10(1), pp.91-102, Jan. 1992.
- [6] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *IEEE conf. Computer Comm*, pp.775-784, March. 2000.
- [7] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, Andy Ward, Paul Webster, "The Anatomy of a

Context-Aware Application” *International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.59-68. 1999.

- [8] Ahmad Safaai-Jazi, Sedki M. Riad, Ali Muqaibel, and Ahmet Bayram, “Ultra-wideband propagation measurements and channel modeling,” *Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp.702-705, Nov. 2002.
- [9] Dongdu Shin, “Implementation Indoor Localization System Ultrasonic Wave Mobile Robot Navigation,” *Wonkwang Univ Master’s Thesis*, 2008
- [10] Sangil Ko, Jongsuk Choi and Byoungsoon Kim, “Performance Enhancement of Indoor Mobile Localization System using Unscented Kalman Filter,” *SICE-ICASE2006*, pp.1355-1360 Oct. 2006.
- [11] Sooyeong Yi and Jaeho Jin, “Self-localization of a Mobile Robot Using Global Ultrasonic Sensor System,” *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering*, 9(2), pp.145-151, 2003
- [12] Suyong Kim, “The Localization of a mobile robot using a pseudolite ultrasonic system without RF and a Dead-reckoning integrated system,” *Busan Univ Ph.D. Dissertation*, 2011
- [13] Shinwook Kang, “Robust Simultaneous Localization and Mapping for a Mobile Robot Using Laser Sensor and Ultrasonic Sensor,” *Yeungnam Univ Ph.D. Dissertation*, 2010
- [14] Kang Kyeungsik, Kim Ilyoung, Kim Yountae, Choi Goangseog, “TOAE Algorithm at Ultrasonic-based Indoor Location Tracking in NLOS Environment,” *JCICT & The first Yellow Sea Int. Conference on Ubiquitous Computing*, Aug. 2010
- [15] Greg Welch and Gary Bishop, “An Introduction to the Kalman Filter,” *UNC-Chapel Hill*, pp.1-16, July. 2006

강 경 식 (Kyeung-sik Kang)

준회원



2010년 2월 조선대학교 정보통신공학과 공학사
2010년 2월~현재 조선대학교 정보통신 공학과 석사과정
<관심분야> 임베디드 시스템 개발, Robotics, FPGA prototyping, 실내 위치 추적

최 광 석 (Goang-seog Choi)

준회원



1987년 2월 부산대학교 전자공학과 공학사
1989년 2월 부산대학교 전자공학과 공학석사
2002년 2월 고려대학교 전자공학과 공학박사

1989년 1월~2006년 2월 삼성전자 디지털미디어 연구소 수석연구원
2006년 3월~현재 조선대학교 정보통신공학과 조교수
<관심분야> 임베디드 시스템 개발, 디지털 미디어 용 ASIC/SOC 설계, 채널 부호