

유비쿼터스 모바일 로봇의 강인한 위치 추정 기법

Robust Positioning-Sensing for a Ubiquitous Mobile Robot

최 효 식, 황 진 아, 이 장 명*
(Hyo-Sik Choi, Jin-Ah Hwang and Jang-Myung Lee)

Abstract : A robust position sensing system is proposed in this paper for a ubiquitous mobile robot which moves indoors as well as outdoors. The Differential GPS (DGPS) which has a position estimation error of less than 5 m is a general solution when the mobile robot is moving outdoor, while an active beacon system (ABS) with embedded ultrasonic sensors is reliable as an indoor positioning system. The switching from the outdoor to indoor or vice versa causes unstable measurements on account of the reference coordinates and algorithm changes. To minimize the switching time in the position estimation and to stabilize the measurement, a robust position sensing system is proposed. In the system, to minimize the switching delay, the door positions are stored and updated in a database. Using the database, the approaching status of the mobile robot from indoor to outdoor or vice versa has been checked and the switching conditions are prepared before the mobile robot actually moves out or moves into the door. The reliability and accuracy of the robust positioning system based on DGPS and ABS are verified and demonstrated through the real experiments using a mobile robot prepared for this research.

Keywords : active beacon, GPS, mobile robot, robust positioning system, ubiquitous

I. 서론

모바일 로봇(mobile robot)은 사용되는 센서 및 그 응용 기술의 발전에 따라 정밀한 제어 및 응용분야가 늘어가고 있다. 그로 인해 모바일 로봇은 원자로내의 핵연료 교환 및 폭발물 제거 등의 인간이 수행하기 어려운 위험한 작업을 정확히 수행할 수 있는 능력을 보유하게 되었다. 하지만 이러한 고성능의 모바일 로봇을 개발하더라도 그 로봇의 현재 위치를 파악할 수 없다면 고성능의 모바일 로봇을 운용하는 의미를 찾을 수 없다. 모바일 로봇의 위치 추정 기법은 크게 건물안과 같은 실내 환경에서 실시하는 실내 위치 추정 기법과 도로와 같은 야외 환경에서 실시하는 실외 위치 추정 기법의 두 가지로 나눌 수 있다. 먼저 실내 위치 추정 기법으로는 크게 초음파 센서를 이용한 능동 비컨 시스템(active beacon system)과 RFID 전자 태그(tag)를 이용한 센서 공간 등이 있다. RFID 전자 태그를 이용한 경우 모바일 로봇에 RFID Reader기를 장착하고 위치 추정이 필요한 장소에 RFID 전자 태그를 설치하여 위치추정을 하기 때문에 시스템 구성이 간편하다는 장점이 있지만 위치 추정이 필요한 실내 공간에 RFID 전자 태그를 설치해야 하는 문제와 가격 면에서 경제적이지 못하다 [1]. 그리고 초음파 센서를 이용한 능동 비컨 시스템은 초음파의 TOF(Time of Flight)를 이용하여 초음파 송수신기 사이의 거리를 측정하고 측정된 거리 정보를 삼각측량법을 이용하여 수신기의 위치를 추정하는 방식을 취하고 있다. 이 시스템은 초음파 송수신이 가능한 거리 내에서는 삼각측량법을 실시하기 위한 소수의 초음파 센서를 요구하기 때문에 RFID 시스템에 비해 상대적으로 저렴하게 시스템을 구축할 수 있으며 정밀한 위치 추정이 가능하다. 따라서 모바일 로봇의

실내 위치 추정을 위해 저렴하고 설치가 용이한 능동 비컨 시스템을 이용하여 위치 추정을 실시한다[2].

다음으로 실외 위치 추정 기법으로는 인공 위성 신호를 이용한 GPS(Global Positioning System)가 대표적이나 이 시스템은 대류층과 전리층에서의 전파의 굴절과 고층건물이 밀집한 도심환경에서 발생하는 다중경로로 인해 위치 추정 오차가 최대 15m가 되어 모바일 로봇의 실외 위치 추정을 위해 사용하기에 적합하지 않다. 현재 상용화된 실외 위치 추정 서비스의 대부분은 GPS를 이용한 시스템이며 그 외에는 유럽연합(EU)에서 개발 중인 Galileo 시스템이 있다. 이 Galileo 시스템은 30개의 인공 위성으로 구성되어 위치 추정 오차가 1m 이내인 시스템이지만 현재 시스템의 첫 번째 인공 위성만이 궤도에 있으며 나머지 인공 위성은 제작 중에 있다. 상용화 가능 연도는 2008년으로 예상하고 있기 때문에 현재 사용할 수 없다는 문제가 있다[3]. 모바일 로봇의 실외 위치 추정이 가능한 오차 범위의 성능을 가지도록 GPS가 개선되어 DGPS(Differential GPS)와 RTK-GPS(Real Time Kinematic GPS) 시스템이 있다. 하지만 RTK-GPS의 경우 위치 추정 정확도는 정밀하지만 시스템 구성을 위하여 고가의 장비를 사용하여야 하므로 일반인이 사용하기에는 무리가 있다. 따라서 본 논문에서는 상대적으로 저가이면서 위치 추정 오차는 5m 이내인 DGPS 시스템을 사용하여 모바일 로봇의 위치를 추정하였다. 이 DGPS 시스템은 기준국(reference station)과 이용자(mobile station)로 구성이 되며 의사 거리 보정(pseudo-range correction)을 한 보정 데이터를 기준국에서 이용자에게 전송함으로써 위치 추정 오차를 5m 이내로 현격히 줄인 시스템이다. 현재 이 시스템은 차량 항법 및 여러 항법 시스템에의 적용 및 연구가 활발히 이루어지고 있다[4].

본 논문에서는 능동 비컨 시스템과 DGPS 시스템을 이용한 모바일 로봇의 실내·외 위치 추정을 목표로 한다. 실내·외 위치 추정을 위해서는 직교 좌표계를 이용하는 능동 비컨 시스템과 WGS-84 좌표를 사용하는 DGPS 시스템 사이의

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 11. 27., 채택확정 : 2008. 8. 11.

최효식, 황진아, 이장명 : 부산대학교 전자공학과

(chs3040@pusan.ac.kr/protestant@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

서로 다른 좌표를 하나의 좌표로 일치시키는 알고리즘과 실내 환경에서는 능동 비컨 시스템을 사용하고 실외 환경에서는 DGPS 시스템을 사용하여야 하기 때문에 실내·외 환경 변화에 따른 시스템 스위칭(system switching) 그리고 실내·외 환경 변화에 따른 시스템 스위칭이 일어날 때 발생하는 위치 추정 데이터의 불연속 구간을 제거하기 위하여 관측 갱신 알고리즘(measurement update algorithm)을 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 좌표 일치 알고리즘과 시스템 스위칭 알고리즘 그리고 관측 갱신 알고리즘의 개발 및 적용을 통하여 모바일 로봇의 실내·외 위치를 추정하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 실내 위치 추정 기법과 실외 위치 추정 기법에 대하여 간략히 설명하고 두 시스템 간의 좌표 일치 알고리즘 및 스위칭 알고리즘 그리고 관측 갱신 알고리즘에 대해서 설명한다. 3장에서는 이들 알고리즘을 적용한 위치 추정 실험과 실험 결과에 대하여 설명한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다

II. 실내·외 위치 추정 기법

1. 실내 위치 추정 기법

모바일 로봇의 실내 위치를 추정하기 위해서 초음파 센서를 이용한 능동 비컨 시스템을 사용하였다. 이 시스템은 초음파의 비행시간 TOF를 측정하여 초음파 송신기와 수신기 사이의 거리를 측정하고 이 거리를 바탕으로 삼각측량법을 사용하여 수신기의 위치를 파악하며 기존의 시스템에 수신기를 1개 추가하여 로봇의 진행 방향도 인식이 가능하다.[5] 본 논문에서 사용한 능동 비컨 시스템은 (주)나인티스시스템社의 iGS(Indoor GPS 시스템)이다. 이 시스템의 사양 및 형태는 다음과 같다. 논문에서는 모바일 로봇의 실내 위치 추정을 위해 초음파 센서를 이용한 능동비컨시스템을 사용하였다.

그림 1과 같이 능동 비컨 시스템을 설치한 후 삼각측량법을 이용하여 수신기의 위치를 파악한다. 수신기의 위치 3개의 원이 교차하는 지점에 위치하므로 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다. 아래 식을 정리 하면 수신기의 위치 (x, y)를 구할 수 있다.

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = d_1^2 \quad (1)$$

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_2^2 \quad (2)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_3^2 \quad (3)$$

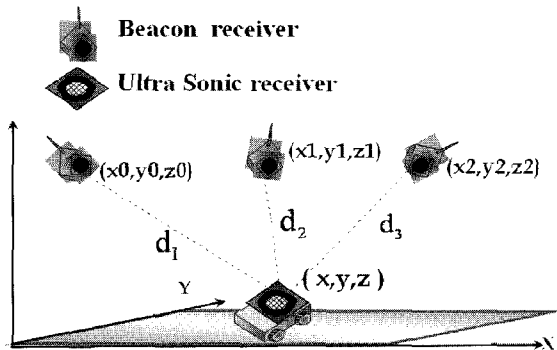


그림 1. 능동 비컨 시스템.
Fig. 1. Active Beacon System.

2 실외 위치 추정 기법

본 논문에서는 GPS 시스템 중에서 상대적으로 저렴 하면서 위치 추정 오차는 작은 DGPS(Differential GPS) 시스템을 사용하였다. DGPS 시스템은 기준국과 이용자로 구성이 된다 [6]. 기준국은 정밀하게 측정된 지점에 위치하게 되고 GPS 위성의 신호를 수신하게 된다. 기준국에서는 의사 거리 보정 방식에 의해 GPS 오차 보정을 하여 이용자에게 전송하는 역할을 담당한다. 이용자는 기준국에서 수신한 보정 데이터를 이용하여 GPS 오차를 보정한다. 아래 그림은 DGPS 시스템의 측위 절차를 나타내고 있다.

DGPS 수신 데이터의 신뢰도는 기준국과 이용자 사이의 거리에 의해 결정된다. 위성의 고도를 r 이라 하고 기준국과 이용자 사이의 거리를 δ, 위성 궤도 오차가 d인 경우 위치 추정 오차는 아래의 식을 만족 한다[7].

$$|e| \leq \frac{\delta d}{r} \quad (4)$$

이러한 특성을 가진 DGPS 시스템을 이용하여 모바일 로봇의 실외 위치 추정을 실시한다. Dusitech社의 DST-R01 DGPS 수신기(receiver)를 사용하였고 그 형태는 그림 4와 같다.

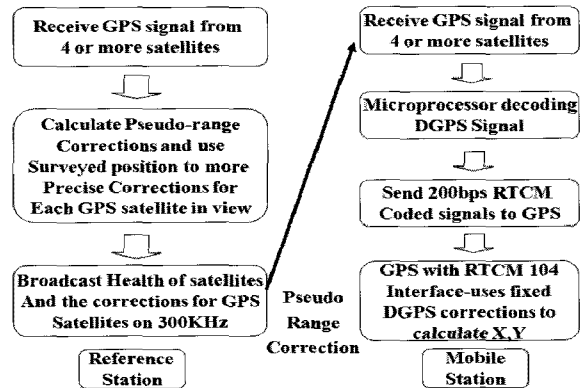


그림 2. DGPS 측위 절차.
Fig. 2. DGPS Observation Procedure.

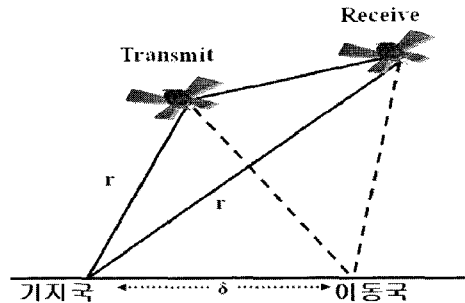


그림 3. 기준국과 이용자의 거리에 따른 오차.
Fig. 3. Reference and Mobile Station Distance Error.



그림 4. DST-R01 DGPS Receiver.
Fig. 4. DST-R01 DGPS Receiver.

3 좌표 일치 알고리즘

iGS의 출력 좌표는 직교 좌표계(catesian coordinate)이고 DGPS 시스템의 출력 좌표는 WGS-84(World Geodetic System 1984) 좌표계이다. 따라서 모바일 로봇의 실내·외 위치 추정을 실시하기 위해서는 우선적으로 실내·외 위치 추정 시스템간의 좌표를 일치시켜야 한다. 본 논문에서는 실외 위치 추정 시스템인 DGPS 시스템의 좌표를 직교 좌표계로 변환하여 실내 위치 추정 시스템인 능동 비컨 시스템의 좌표계와 일치시킨 후 모바일 로봇의 실내·외 위치 추정을 실시한다. 먼저 DGPS 시스템의 좌표를 직교 좌표계로 변환하여 iGS의 좌표와 일치시킨 후 모바일 로봇의 실내·외 위치 추정을 실시한다 [8]. 식(5), (6)은 WGS-84 좌표를 각각 X, Y축으로 변환하는 식을 나타낸다.

$$X = (N + h) \cdot \cos \phi \cos \lambda \quad (5)$$

$$Y = (N + h) \cdot \cos \phi \sin \lambda \quad (6)$$

위 식에서 N은 황곡률 반경이며 h는 베셀(bessel) 타원체 고이다. 실제 수신되는 데이터는 황곡률 반경과 베셀 타원체의 고를 더한값으로 위 식과 같이 나타낸다. ϕ 는 경도 그리고 λ 는 위도이며 황 곡률 반경을 나타내며 N은 식(8)을 통해 구할 수 있다. 먼저 식 (7)을 통해 황곡률 반경을 구한 다음 이를 식(5), (6)에 대입하게 된다.

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi}} \quad (7)$$

여기서 a는 타원체의 장반경, b는 타원체의 단반경을 나타내며 또한 베셀 타원체 고를 의미하는 h는 지오이드로부터의 높이 H와 타원체면과 지오이드의 높이차 N(geoidal height)을 이용하여 구할 수 있다[9,10].

$$h = H + N \quad (8)$$

평균 해수면으로부터의 높이 H, 위도, 경도는 DGPS 수신기에서 출력되므로 즉 식(5)~(8)을 이용하여 DGPS 시스템과 iGS의 서로 다른 출력 데이터 좌표를 하나로 일치시킬 커 모바일 로봇의 위치를 단일된 좌표인 직교 좌표계로 표현하게 된다.

4. 시스템 스위칭 알고리즘

모바일 로봇의 실내·외 위치 추정 기법을 사용하기 위해서는 각기 다른 시스템의 좌표를 일치시키는 것 외에도 환경 변화에 따른 위치 추정 시스템의 스위칭이 필요하다. 시스템 스위칭 알고리즘은 크게 2개로 나눌 수 있다. 첫 번째로는 PDOP(Position Dilution of Precision)상수를 점검하여 실내·외 환경을 구분하는 알고리즘이다. PDOP는 인공위성의 기하학적 배치를 나타내는 상수로서 5이하를 이상적으로 보고 있다. PDOP는 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$PDOP = \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}}{\sigma_{user}} \quad (9)$$

여기서 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 는 각 축의 위치 오차이고 σ_{user} 는 위성과 수신기 사이의 거리오차이다[11]. 이 알고리즘의 장점은 능동 비컨 시스템의 신호가 정확히 수신되는 지점에서는 실내 위치 추정을 실시하고 GPS 위성의 신호가 수신되는 지점에서는 실외 위치 추정을 한다는 것이다. 하지만 이 알고리즘은 ABS의 신호가 수신되지 않고 DGPS 시스템의 신호가 수신되지 않는 지점에서는 위치 추정 data를 잃어버리는 시스템 스위칭 지연시간이 존재하며 PDOP 상수가 4이상일 때 신뢰도 높은 위치 데이터를 출력하는 DGPS 시스템의 특성상 실내·외 환경변화가 일어나는 지점에서는 만족할만한 PDOP 상수를 가지지 못함으로 인해 위치 추정 데이터의 신뢰도가 낮아지는 단점이 있다. 그림 5는 알고리즘의 흐름도를 나타내며 실외 위치인식의 경우 좌표 변환과정을 추가 하게 된다.

두 번째로는 실내 위치 추정 환경을 데이터베이스화 하여 실내에서 실외로 변화하는 부분의 데이터를 이용하여 위치 추정 시스템을 스위칭하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 실내·외로 환경 변화가 일어나는 지점의 위치와 실내·외 위치 추정 공간에서 스위칭이 일어날 지점의 좌표 데이터를 공간 변화에 따라 데이터베이스화해야 하는 단점이 있지만 한번 데이터베이스화 되어 있으면 실내·외 환경 변화에 따른 시스템 스위칭이 되더라도 시스템 스위칭 지연시간을 최소화하기 때문에 실시간에 가까운 시스템 스위칭이 가능한 장점이 있다. 그림 6은 이 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것으로 데이터 베이스화된 좌표 데이터를 스위칭 지점의 위치 추정에 이용하며 스위칭이 일어난 경우에는 실내에서 실외로 위치 추정 방식을 변화시키며 스위칭이 일어나지 않은 경우 이전의 방식을 유지하게 된다.

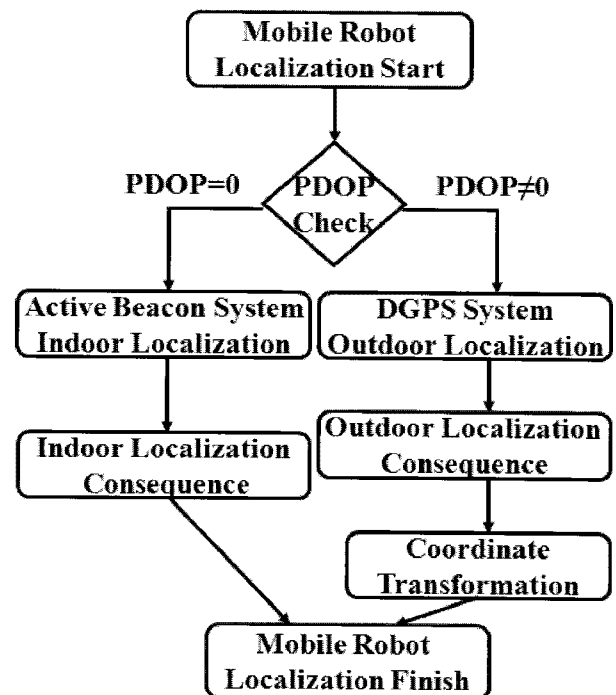


그림 5. 시스템 스위칭 알고리즘(I) 흐름도.
Fig. 5. System Switching Algorithm(I) Flow Chart.

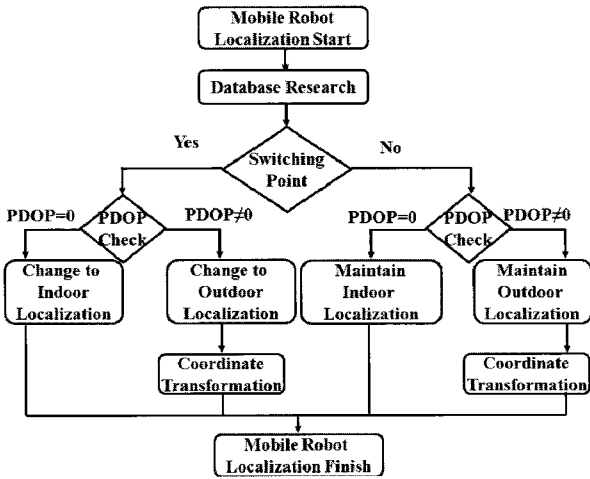


그림 6. 시스템 스위칭 알고리즘(II) 흐름도.
Fig. 6. System Switching Algorithm(II) Flow Chart.

5. 관측 갱신 알고리즘

본 논문에서는 위에서 언급한 좌표 일치 알고리즘과 시스템 스위칭 알고리즘을 사용하여 모바일 로봇의 실내·외 위치 추정을 실시한다. 하지만 실내·외 환경변화가 일어나는 지점에서는 시스템 스위칭이 일어나면서 위치 데이터의 불연속 구간이 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 관측 갱신 알고리즘을 적용하여 불연속 구간이 존재하지 않는 모바일 로봇의 실내·외 위치 추정 시스템을 구성하였다. 관측 갱신 알고리즘은 아래의 식으로 표현된다.

$$X'_{new} = X_{old} + (X_{new} - X_{old}) \times [sd_{old}^2 / (sd_{old}^2 + sd_{new}^2)] \quad (10)$$

$$(sd'_{new})^2 = [(sd'_{old})^2 + (sd'_{new})^2] / [(sd'_{old})^2 \times (sd'_{new})^2] \quad (11)$$

여기서 $X'_{new} = [x'_{new} \ y'_{new}]^T$ 는 스칼라인 관측 갱신된 데이터이고 sd'_{new} 는 X'_{new} 의 표준 편차이다. $X_{new} = [x_{new} \ y_{new}]^T$ 는 현재 출력되는 위치 데이터 그리고 $X_{old} = [x_{old} \ y_{old}]^T$ 는 X_{new} 이전에 출력된 위치 데이터이다. 그리고 sd_{old} 와 sd_{new} 는 X_{old} 와 X_{new} 의 표준편차이다. 이 알고리즘은 현재 시스템의 출력 데이터와 이전 출력 데이터를 이용하여 새로운 최적값을 계산하는 알고리즘이다. 본 논문에서는 실내에서는 능동 비컨 시스템을 이용하여 위치 추정을 실시하고 실외에서는 능동 비컨 시스템의 데이터를 바탕으로 모바일 로봇의 위치를 예측하여 DGPS 시스템의 데이터와 비교함으로써 위치 추적 불연속구간이 존재하지 않고 더욱 정밀한 위치 추정 시스템을 구성이 가능하다.

III. 실내·외 위치 추정 실험 결과

1. 실내 위치 추정 실험

초음파 송신기의 위치를 설정하기 위해서는 자동 보정 (Auto-Calibration) 알고리즘을 이용하여 수신기의 위치를 파악

한다. 그 후 수신기에서는 설정된 송신기에서 나오는 초음파를 이용하여 각 송신기와의 거리를 측정 후 삼각측량법을 이용하여 자신의 위치를 계산하고 PC에 전송을 하게 된다. 이렇게 설정된 iGS를 이용하여 모바일 로봇의 실내 위치를 추정하게 된다.

위치 추정 실험은 능동 비컨 시스템을 이용하여 실험을 하였다. 아래 그림은 모바일 로봇의 실내 주행시 위치 추정 오차를 나타낸 것으로 실내위치 추정 오차를 30mm에서 10mm로 줄였으며 그 궤적은 그림 7과 같다.

2. 실외 위치 추정 실험

DGPS 수신기에서 출력되는 NMEA-0183 데이터 중에서 PIC18F452를 통해 위도, 경도, 고도 데이터를 추출하였고 좌표 일치 알고리즘을 적용하여 직교 좌표로 변환하여 DGPS 시스템을 이용하여 실외에서도 5m이내의 위치 추정 정밀도를 보유하는 실외 위치 추정 시스템을 구성하였고 실외 위치 추정 궤적은 그림 8과 같다.

3. 실내·외 위치 추정 실험

실내와 실외에서의 위치 추정 실험을 통해 위치 추정 정밀도를 검증한 뒤 능동 비컨 시스템과 DGPS 시스템을 연동하여 모바일 로봇의 실내·외 위치 추정 실험을 실시 하였다. 실험은 본 논문에서 제시한 좌표일치 알고리즘과 시스템 스위칭 알고리즘, 관측 갱신 알고리즘을 적용하여 진행하였다. 실내·외 위치 추정을 위한 제어기는 실내 위치 추정 제어기

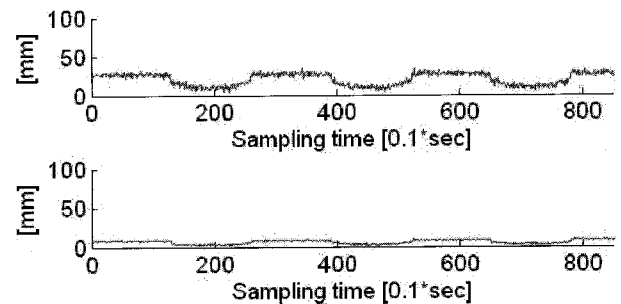


그림 7. 실제 이동 궤적 및 위치 추정 궤적.
Fig. 7. Real Moving Path and Estimate Moving Path.

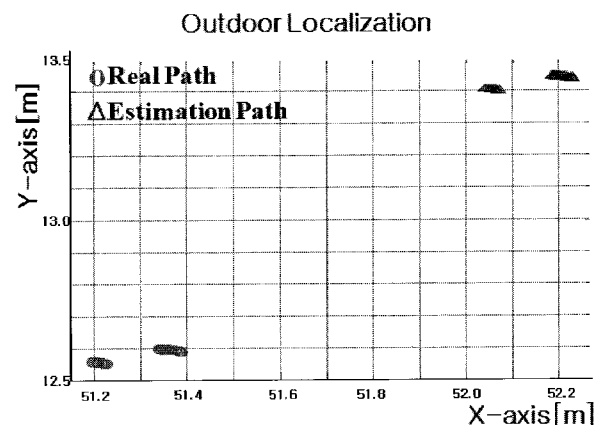


그림 8. 실제 이동 궤적 및 위치 추정 궤적.
Fig. 8. Real Moving Path and Estimate Moving Path.

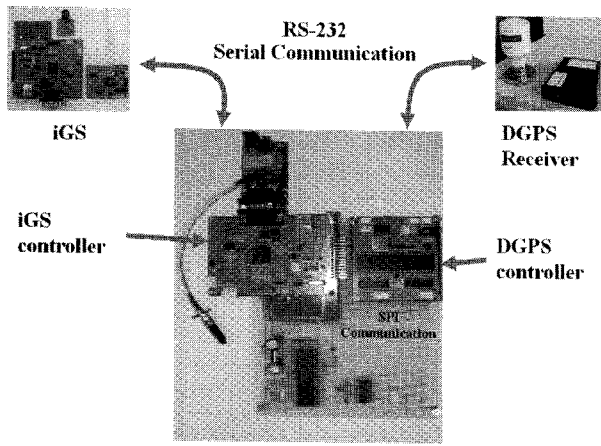


그림 9. 실내·외 위치 추정 제어기.
Fig. 9. Indoor and Outdoor Localization Controller.

와 실외 위치 추정 제어기 그리고 시스템 스위칭 알고리즘과 관측 갱신 알고리즘을 적용한 제어기로 구성이 된다.

앞에서 언급한 좌표 일치 알고리즘을 이용하여 능동 비컨 시스템과 DGPS 시스템을 하나의 직교 좌표로 변환 하였지만 이 좌표는 서로 다른 원점을 가지고 있기 때문에 좌표 변환된 DGPS 시스템 데이터의 원점을 능동 비컨 시스템의 원점에 일치시킴으로써 DGPS 시스템의 위치 추정 오차를 최소화하였다. 그리고 서로 다른 종류의 스위칭 알고리즘을 적용하여 데이터베이스를 기반으로 한 스위칭 알고리즘의 성능을 검토하였다.

먼저 PDOP 상수를 이용한 스위칭 알고리즘을 적용하여 실험한 결과는 아래와 같다. DGPS 시스템의 경우 PDOP가 3 이하인 경우 의사 거리 보정 데이터의 신뢰도가 떨어져 높은 정밀도의 위치 추정 데이터를 수집할 수 없는 단점이 있다. 따라서 PDOP를 이용한 스위칭 알고리즘을 적용한 실험에서는 PDOP 상수가 3이하인 지점에서는 신뢰도가 낮은 데이터를 출력하지 않고 임의로 0의 데이터를 출력하게 하였다. 따라서 실내 환경에서 실외 환경으로 변화할 때 충분한 수의 가시위성을 확보하지 못함으로 인해 시스템 스위칭이 일어나는 시점에서는 2~3초의 시스템 스위칭 지연시간(delay time)이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 위치 추정 오차는 좌표 변환된 DGPS 시스템의 data의 원점을 능동 비컨 시스템의

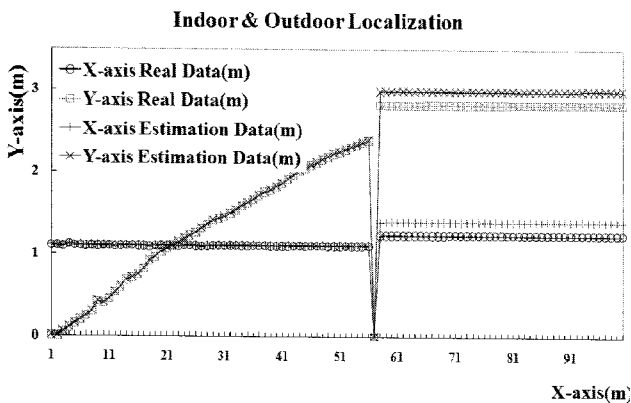


그림 10. 실내·외 위치 추정 오차.
Fig. 10. Indoor and Outdoor Localization Estimation Error.

그것에 일치시킴으로써 위치 추정 오차를 약 20cm로 대폭 줄인 것을 그림 10에서 확인할 수 있다.

다음으로 시스템 스위칭이 일어나는 지점을 데이터베이스화하여 스위칭하는 알고리즘을 적용하여 그 성능을 검토 하였다. 시스템 스위칭이 일어나는 지점과 그에 따른 위치 추정 오차와 궤적은 그림 11과 같다.

모바일 로봇이 이동하면서 실내·외 환경변화가 일어나는 지점을 데이터베이스화하여 그 지점에서 시스템 스위칭을 실시한다. 스위칭 지점은 동경 129° 04' 57.82", 북위 35° 13'59.55"으로 설정하였다. 실험 결과 스위칭 지점에서 위치 추정 시스템의 스위칭은 되었으나 PDOP 상수가 낮아서 데이터의 신뢰도가 높지 않았다. 하지만 시스템 스위칭 지연시간은 0.5~1초로서 PDOP 만을 측정하여 스위칭하는 알고리즘보다 시스템 스위칭 지연시간이 현저히 줄어들었음을 확인할 수 있었다. 이 때 발생하는 시스템 스위칭 지연시간은 위치 추정 시스템이 스위칭되면서 낮은 신뢰도를 가지는 데이터를 출력하지 않음으로써 생기는 현상이라는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

실외위치 추정 오차를 이전 실험과 동일한 약 20cm로 대폭 줄인 것을 그림 11에서 확인할 수 있으며 서로 다른 두 가지의 시스템 스위칭 알고리즘을 적용하여 실험을 실시한 결과 데이터베이스를 기반으로 한 시스템 스위칭 알고리즘이 실내·외 위치 추정에 적합하다는 것을 확인하였다. 그리

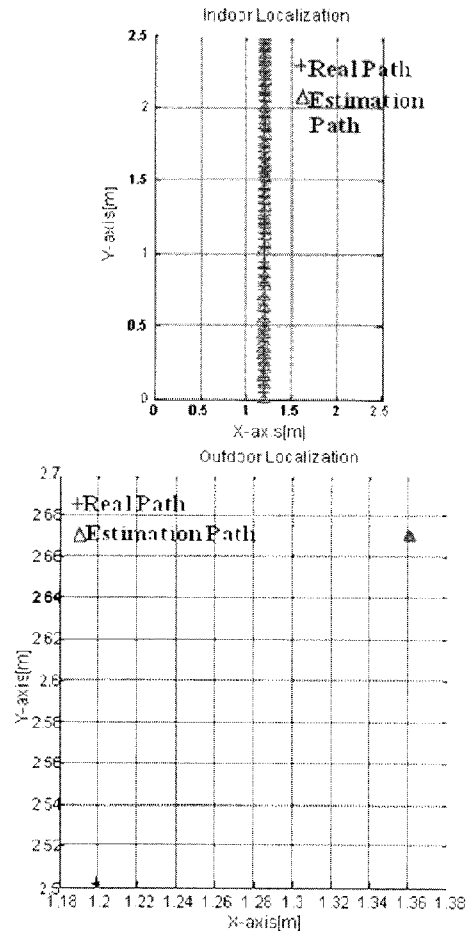


그림 11. 실내·외 위치 추정 궤적.
Fig. 11. Indoor and Outdoor Localization Estimation Path.

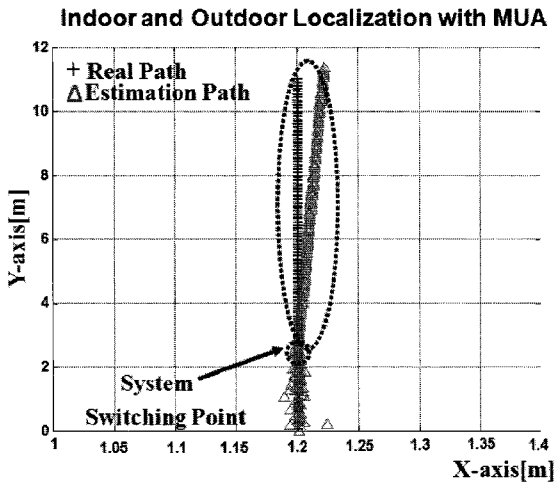


그림 12. 실내·외 위치 추정 오차 및 궤적.

Fig. 12. Indoor and Outdoor Localization Estimation Error and Path.

고 마지막으로 관측 갱신 알고리즘을 데이터베이스를 기반으로 한 시스템 스위칭 알고리즘과 함께 적용하여 시스템 스위칭 지연시간이 없는 실내·외 위치 추정 시스템을 구현하여 그 성능을 검토하였다. 시스템 스위칭이 일어나는 지점과 그에 따른 위치 추정 오차와 궤적은 그림 12와 같다.

이번 실험에서는 상대적으로 정밀도가 높은 능동 비컨 시스템의 출력 데이터를 바탕으로 관측 갱신 알고리즘을 적용하여 위치 추정 불연속구간 및 실외 환경에서의 모바일 로봇의 위치 최적값을 출력하였고 이를 DGPS 시스템에서 수신하여 좌표 변환한 데이터와 비교하여 출력함으로써 높은 정밀도를 가진 위치 데이터를 출력하는 시스템을 구성하였다. 스위칭 지점은 이전 실험과 동일하게 설정하였고 모바일 로봇의 위치 추정 불연속구간은 관측 갱신 알고리즘을 적용함으로써 제거하였다. 그리고 실외위치 추정 오차는 알고리즘이 적용되는 시점부터 누적되었지만 최대 오차는 약 20mm 이내임을 그림 12에서 확인할 수 있다. 따라서 본 실험을 통하여 모바일 로봇의 실내·외 위치 추정에는 관측 갱신 알고리즘과 데이터베이스를 기반으로 한 시스템 스위칭 알고리즘이 적합하다는 것을 확인하였다.

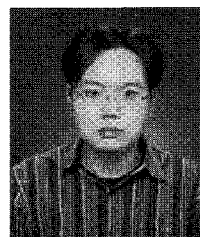
IV. 결론

본 논문은 실내 위치 추정 시스템인 능동 비컨 시스템과 실외 위치 추정 시스템인 DGPS 시스템을 이용하여 모바일 로봇의 실내·외 이동을 자유롭게 하는 위치 추정을 기술을 제안하였다. 두 개의 위치 인식시스템을 효율적으로 활용하여 실내 및 실외 위치 추정 정밀도를 측정된 결과 실내에서는 10mm이내, 실외에서는 약 20mm이내의 위치 추정 정밀도를 가질 수 있었다. 또한 실내에서 실외로의 환경변화가 있는 지점에서는 데이터베이스를 기반으로 한 시스템 스위칭 알고리즘을 적용하여 PDOP만을 고려한 시스템 스위칭 알고리즘보다 시스템 스위칭 지연시간을 2배 이상 줄임으로써 실내·외 위치 추정 시스템 간의 연속성을 확보하였다. 그리고 관측 갱신 알고리즘을 적용하여 시스템 스위칭 지연시간이 없는 실시간 스위칭을 구현하였고 DGPS 시스템 단독으

로 측정하였을 경우보다 높은 정밀도를 가지는 실내·외 위치 추정 시스템을 구성하였다. 본 논문에서 제안한 실내·외 위치 추정 시스템은 설치의 용이성과 사용의 편리함 등의 장점을 보유하고 있어 차후 모바일 로봇 뿐만 아니라 차량, 항공기 등의 항법 시스템으로의 응용 가능성이 높을 것으로 예상된다. 향후 과제로는 관측 갱신 알고리즘에서 발생하는 위치 추정 누적오차를 줄인 실시간 고 정밀 위치 추정 시스템을 구성하는 것이다.

참고문헌

- [1] D. Hahnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin and M. Philipose, "Mapping and Localization with RFID Technology," *IEEE*, vol. 1, pp. 1015-1020, April 2004.
- [2] P. Krammer and H. Schweinzer, "Localization of Object Edges in Arbitrary Spatial Positions Based on Ultrasonic Data," *IEEE Sensors Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 203-210, Feb. 2006.
- [3] 박찬식, 황동환, 이상정, "현대화된 GPS와 Galileo를 이용한 위치 결정에서의 오차해석," 제어자동화시스템공학회, 제11권, 제7호, pp. 644-650, 7, 2005.
- [4] M. G. Soares, B. Malheiro and F. J. Restivo, "An Internet DGPS Service for Precise Outdoor Navigation," *IEEE Emerging Technologies and Factory Automation*, vol. 1, pp. 512-518, Sept. 2003.
- [5] 김성부, 이동희, 이장명, "RFID 응용 기술을 이용한 이동 로봇의 실내 위치 추정," 제어자동화시스템 공학회 제11권, 제12호, pp. 996-1001, 2005.
- [6] J. M. Silva, "Evaluation of the Potential for Power Line Noise to Degrade Real Time Differential GPS Messages Broadcast at 283.5-325kHz," *IEEE Trans on Power Delivery*, vol. 17, pp.326-333, April 2002.
- [7] 이창복, 안준석, 주세철, 김기두, "저가의 GPS 모듈에 DGPS 기술을 이용한 위치 측정정확도 개선에 관한 연구," 한국측지학회지, 제12권, 제2호, pp. 155-161, 1994.
- [8] B. Hofmann-Wellenhof, *Global Positioning System Theory and Practice*, SpringerWienNewyork, 1997.
- [9] 조규진, 전재홍, 차득기, 어수창, "소지역에서 GPS 좌표 변환에 관한 연구," 한국측지학회지, 제15권, 제2호, pp. 253-261, 1997.
- [10] 권대원, 윤홍식, 최재화, "7-매개변수 좌표변환에 의한 우리나라 측지계와 WGS-84의 좌표변환," 한국측지학회지, 제13권, 제2호, pp. 117-124, 1995.
- [11] 이은성, 신명주, 이영재, 지규인, 이장규, 최홍석, 김진대, "한국 지역 위성항법시스템을 위한 위성궤도 설계," *Telecommunications Review*, 제9권, 제1호, pp. 58-73, 1999.



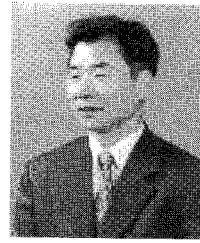
최 효 식

2005년 부산대학교 전자전기통신공학부 졸업. 2005년~2007년 현재 동 대학원 전자공학과 석사과정 졸업. 관심분야는 지능제어시스템, 위치 추정 시스템



황진아

2006년 부산대학교 전자전기통신공학부 졸업. 2006년~현재 동 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 위치 인식시스템, 다중센서 적용



이장명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1982년 동대학원 석사. 1990년 USC(미국 남가주 대학교)공학박사. 1992년~현재 부산대학교 정교수. 관심분야는 지능로봇 시스템의 설계 및 제어, 마이크로 프로세서 응용 시스템 설계 및 모터 구동 제어