

깊이 측정 카메라를 이용한 실내 위치결정 방법

¹김석진, ²전승현, ³이태관, ⁴김승오, ⁵박채린, ^{6*}구본근

A Method for Indoor Positioning Utilizing Depth Camera

¹Seokjin Kim, ²Seunghyeon Jeon, ³Taegwan Lee, ⁴Seungo Kim
and ⁵Chaelyn Park, ^{6*}Bongen Gu

요약

비콘 또는 태그를 이용한 기존 실내 위치결정 방법은 상황에 따라 검출하지 못하거나 잡음에 의한 오차가 증가하는 문제가 있다. 본 논문에서는 위치가 알려져 있는 대상 객체와의 거리와 로봇의 정면 방향에서 대상 객체를 보는 방향 사이의 각도를 이용하여 로봇의 실내 위치를 결정하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 거리를 측정하고, 각도를 계산하기 위해 깊이 측정 카메라를 이용한다. 거리는 카메라가 측정한 깊이 정보를 이용하며, 각도는 카메라가 캡처한 이미지를 이용하여 대상 객체의 각도를 결정한다. 본 논문에서 제안한 방법은 거리 정보와 각도 정보를 이용하여 좌표 변위를 계산하고, 이 변위와 대상 객체의 좌표를 이용하여 이동 로봇의 위치를 결정한다. 본 논문에서 제안한 방법이 실내 위치결정에 사용될 수 있음을 보이기 위해 시험 구현하여 실측한 변위 비교하였다. 그 결과 50mm 이내의 오차가 있었지만 이동 로봇의 크기를 고려할 때 본 논문에서 제안한 방법이 실내 위치결정에 충분히 사용될 수 있다고 판단된다.

Abstract

The existing indoor positioning methods using beacons or tags suffer from issues such as occasional undetection or increased errors due to noise. In this paper, we propose a method for determining the indoor position of a robot using the distance and, the angle between the direction of a target object whose position is known and the direction in which the robot views the target object from the front. The method proposed in this paper utilizes a depth camera to measure distance and calculate angles. Distance is measured using depth information captured by the camera, while angles are determined using images captured by the camera to determine the orientation of the target object. The proposed method calculates coordinate displacements using distance and angle. And then the method determines the position of the mobile robot using these displacements and the coordinates of the target object. To show the applicability of the proposed method for indoor positioning, we conducted experimental implementation and compared measured displacements. The results showed errors within 50mm, but considering the size of the mobile robot, it is judged that the method proposed in this paper can be sufficiently used for indoor positioning.

Keywords: indoor, position, depth camera, distance, angle, robot, mobile

¹ 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사과정 (tjrwls1108011@gmail.com)

² 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사과정 (wwtg0319@ut.ac.kr)

³ 한국교통대학교 AI 로봇공학과 학사과정 (xorhks2566@naver.com)

⁴ 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사과정 (rtd7878@gmail.com)

⁵ 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사과정 (blueveryvicky@gmail.com)

^{6*} 교신저자 한국교통대학교 컴퓨터공학과 교수 (bggoo@ut.ac.kr)

I. 서론

모바일 장치의 위치결정은 자율 주행 등 위치 기반 서비스에 요구되는 핵심 기술이다. 모바일 장치의 이동 환경에 따라 다양한 위치결정 방법이 있다. GPS는 다수의 위성이 송출하는 신호를 수신하여 위치를 결정하는 것으로 위성 신호의 수신 가능한 실외 환경에서 모바일 장치의 위치결정에 사용된다. 하지만, 위성 신호 수신 가능한 실외 또는 지하에서 GPS 기반의 위치결정은 가능하지 않거나 어려움이 있다[1]. 따라서, 실내 환경에서 위치를 기반으로 한 서비스를 제공하는 시스템은 모바일 장치의 위치 결정을 위해 다양한 방법을 제안, 사용하고 있다.

실내 위치결정(indoor positioning)은 실내에서 제공되는 위치 기반 서비스를 위해 모바일 로봇 또는 장치 등 서비스 클라이언트의 위치를 결정하는 기술이다. 실내 위치결정의 기준이 되는 GPS 신호 등이 도달하지 않으므로 실내 위치결정을 위한 다양한 방법이 제안되었다[1]. 실내 위치결정을 위한 주요 방법은 센서를 활용하는 방법과 신호 처리 기술을 이용하는 방법이 있다. 센서 기반 실내 위치결정은 LiDAR 등의 물리적인 센서를 사용하여 위치를 결정하는 방법이며[2], 신호 처리 기반 실내 위치결정은 여러 무선 액세스 포인트(wireless access point)가 방출한 신호의 수신 강도(strength)를 이용하거나, 비콘(beacon) 또는 wifi AP가 방출한 신호를 이용한다[3][4][5]. 이러한 실내 위치결정은 실내에서 제공되는 모바일 로봇 기반 서비스의 안정성과 정확성을 높일 수 있는 중요한 요소이다. 무선 액세스 포인트, 비콘 등의 장치가 송출하는 신호의 강도를 이용하거나 실내의 특정 위치에 태그 또는 마커를 인식하여 위치를 결정하는 기존의 실내 위치결정 방법은 넓이, 높이, 시설물, 사람 등 다양한 변수가 있는 실내에서 무선 신호의 혼신, 태그 또는 마커 인식 오류 등으로 인해 결정된 위치의 정확도가 감소되는 문제가 있다. 모바일 장치의 실제 위치와 서비스 시스템이 결정한 위치 사이의 오차는 위치기반 서비스의 품질에 영향을 줄 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 깊이 측정 카메라(depth camera)를 이용한 실내 위치결정 방법을 제안한다. 깊이 측정 카메라는 이미지와 깊이 즉, 거리를 캡처할 수 있는 기능을 갖고 있는 카메라이다. 깊이 측정 카메라가 깊이를 측정하는 방법은 스테레오 이미지, ToF(Time of Flight) 등이 있지만 본 논문의 범위를 벗어나므로 본 논문에서는 깊이 측정 카메라가 출력하는 깊이 정보를 이용한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 캡처한 이미지에서 사전에 위치가 알려져 있는 대상 객체를 인식하고, 이미지 내에서 그 객체의 위치와 거리 정보를 이용하여 모바일 장치의 위치를 결정한다. 이때 각 대상 객체의 위치는 대상 실내의 객체 지도를 통해 제공된다고 가정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 실내 위치결정과 관련한 관련 연구에 대해 기술하고, 제 3 장에서는 본 논문에서 제안하는 깊이 측정 카메라를 이용한 실내 위치결정 방법을 기술한다. 제 4 장에서는 본 논문에서 제안한 위치 결정방법으로 모바일 장치의 위치를 결정할 수 있음을 보이기 위한 실험 및 그 결과를 기술하며, 제 5 장은 본 논문에서 제안한 실내 위치결정 방법 및 실험 결과에 대해 정리하고, 향후 연구과제를 제시한다.

II. 실내 위치결정 관련 연구

2.1 블루투스 비콘과 자기장 센서 융합을 통한 실내 위치 결정

블루투스 비콘과 자기장 센서를 이용한 실내 위치결정 방법은 비콘이 송출하는 무선 신호의 세기와 자기장의 세기를 이용하여 위치를 결정하는 방법으로 세 단계로 구성되어 있다[6]. 첫 번째 단계는 탐색 대상이 되는 실내 공간을 셀 단위로 나누고, 각 셀에서의 자기장 세기를 기록한 맵을 생성하는 오프라인 단계이다. 두 번째 단계는 온라인 단계로서 비콘으로부터 수신한 신호 중 가장 강한 신호를 평균 필터로 보정한 후 거리로 환산한다. 세 번째 단계는 위치를 결정하는 단계로서 오프라인 단계에서 생성한 맵과 온라인 단계에서 환산한 거리를 이용하여 결정한 셀 단위의 실내 위치 후보 군 중 가장 유사한 자기장 세기를 가진 셀을 모바일 장치의 위치로 결정한다.

소형 전자기기가 방출하는 자기장으로 인해 오프라인 단계에서 생성한 각 셀의 자기장 세기와

실제 측정된 자기장의 세기가 달라질 수 있어 모바일 장치의 실제 위치와 이 방법으로 결정된 위치 사이의 오차가 증가할 수 있다. 또한, 이 방법은 비콘의 설치, 유지 관리를 위한 추가 자원이 필요하다.

2.2 UWB/VISION 네트워크 최적화와 측위 정확도 분석

유전자 알고리즘을 이용한 위치결정은 UWB 비콘과 AprilTag 를 이용하였다[7]. 이 연구는 UWB 센서로 Decawave 사의 TREX1000 와 AprilTag 를 이용하여 모바일 로봇의 주행 경로상 위치 정확도를 분석하였다. 특히, AprilTag 는 모바일 로봇에 장착된 카메라가 이 태그를 캡처하는 위치와 각도를 추정할 수 있어 UWB 센서와 이 태그를 융합하여 이용한 실내 위치결정은 오차범위가 10 cm 이하인 것으로 분석하였다. 하지만 쇼핑몰 등 넓은 공간에서 이 방법을 적용하기 어렵게 하는 장애 요소는 공간 내 설치하는 비콘과 태그 수의 증가와 먼 거리에 있는 태그 인식의 오류 및 오차 등이 있다. 따라서, 넓은 공간에 설치된 다수의 비콘이 송출하는 무선 신호의 혼선 및 먼 거리에 부착된 태그 인식 오류는 모바일 로봇의 위치결정의 오류를 증가시킬 수 있다.

2.3 VLC 기반 실내 위치결정 플랫폼 개발

라즈베리피카 pico 와 LED 패널로 구성된 네 개의 LED 액세스 포인트와 포토 다이오드가 장착된 한 개의 수신부로 구성된 환경에서 VLC(Visual Light Communication)을 이용한 실내 위치결정은 액세스 포인트와 수신부 사이의 LED 빛을 이용한 통신을 이용한다[8]. 액세스 포인트는 LED 패널의 점등과 소등 패턴을 이용하여 위치 데이터를 코드화 한 9 비트 데이터를 송신하며, 수신부는 포토 다이오드를 사용하여 감지한 LED의 점등과 소등 패턴을 해독하여 9 비트 위치 데이터를 수신한다.

밝은 조명과 다양한 색상의 조명을 사용하는 넓은 실내 환경에서 LED 점멸 패턴을 감지하는 것에 한계가 있으므로 LED 와 포토 다이오드를 이용한 VLC 기반 위치결정 방법은 적용하기 어렵거나 오차가 클 수 있다는 문제가 있다. 또, 위치결정의 기준이 되는 LED 패널이 실내에 다수 설치되면 미관을 해치거나 보행자 등 다양한 형태의 임시 장애물이 LED 패널의 빛을 가리면 VLC 통신을 기반으로 한 위치결정이 불가능하다는 문제가 있다. 또한, 모바일 로봇에 설치된 포토 다이오드의 감도와 위치가 결정된 위치의 정확도에 영향을 줄 수 있다는 문제가 있다.

2.4 스마트폰과 QR 코드를 이용한 실내 위치 결정

QR 코드를 활용한 실내 위치결정 방법은 실내에 부착된 QR 코드 인식과 위치 보정 방법을 이용하여 위치를 결정하는 것이다[9]. 이 방법은 모바일 장치 등에 설치되어 있는 카메라를 통해 캡처된 이미지에서 QR 코드를 검출하고, 이에 코드화 되어 있는 위치 정보를 해독한다. 실내에 부착된 QR 코드와 이미지를 캡처하는 카메라 사이의 거리와 각도에 따라 모바일 장치의 위치가 다르므로 추가적인 위치 보정 방법이 필요하다. [9]에서 제안한 위치 보정 방법은 사각형 형태를 갖는 QR 코드의 네 모서리를 상대적 위치와 면적을 이용하여 무게 중심점을 계산한 후 이를 이용하여 QR 코드에서 해독한 위치를 보정하여 실내 위치결정의 정확도를 높이고 있다.

하지만 QR 코드를 활용한 실내 위치결정 방법은 위치 정보를 코드화 한 QR 코드를 실내 여러 곳에 부착하여야 하며, 모바일 장치의 카메라가 이 QR 코드를 캡처할 수 있어야 한다는 문제가 있다. 또, 실내 공공 장소 등 공간이 넓거나 사람의 왕래가 많은 장소는 여러 요인에 의해 QR 코드의 캡처 및 인식이 어려울 수 있어 이 방법을 활용한 실내 위치결정은 제한되거나 제어된 실내 환경에서 적용될 수 있다.

III. 거리와 각도를 이용한 실내 위치결정 방법

수신한 무선 신호의 세기, 빛을 이용한 통신, QR 코드 등의 마커를 활용한 실내 위치결정 방법이 가진 문제점을 완화하기 위해 본 논문에서는 기준 방향(reference direction)에 대한 모바일 로봇과

위치가 알려져 있는 대상 객체(target) 간의 각도와 거리를 이용하여 실내 위치를 결정하는 방법을 제안한다.

3.1 로봇과 대상 객체 사이의 각도와 거리를 이용한 실내 위치결정 방법

그림 1은 본 논문에서 제안하는 실내 위치결정 방법을 위한 요소를 나타낸 것이다. 기준 방향은 로봇과 대상 객체의 위치를 위한 좌표평면의 x-축 또는 y-축 방향을 의미한다. 대상 객체는 모바일 로봇의 위치결정을 위해 참조되는 대상으로 매핑 과정 또는 기 작성된 맵을 통해 위치 (x_t, y_t) 가 알려져 있다. 거리 d 는 모바일 로봇과 대상 객체 간의 거리를 나타내며, 각도 θ 는 모바일 로봇의 정면 방향과 대상 객체와의 각도이다. 모바일 로봇이 이동하는 환경에서 로봇의 정면 방향은 기준 방향에 정렬되어 있지 않으므로 각도 θ_r 는 기준 방향과 모바일 로봇의 정면 방향 간의 각도이다. 또, Δx , Δy 는 대상 객체의 위치 (x_t, y_t) 와 모바일 로봇의 위치 (x, y) 사이의 좌표 평면 각 축의 차이를 나타낸다.

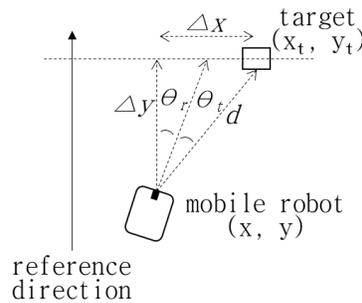


Figure 1. Positioning of Mobile Robot utilizing distance and angle from Target Object

그림 1. 대상 객체와의 거리와 상대 각도를 이용한 모바일 로봇의 위치결정

그림 1에 나타낸 실내 위치결정을 위한 요소를 이용하여 모바일 로봇의 위치 (x, y) 를 결정하는 방법은 다음과 같다. 식 (1)은 모바일 로봇을 기준 방향으로 정렬했을 때—로봇을 회전시켜 기준 방향으로 실제로 정렬하지는 않음— 기준 방향과 대상 객체와의 각도 θ 를 계산하며, 이를 이용하여 식 (2)와 (3)을 이용하여 각각 Δx , Δy 를 계산한다. 본 논문에서 제안하는 실내 위치결정 방법은 식 (2), (3)을 이용하여 계산한 좌표 평면의 각 축 좌표의 차이 Δx , Δy 를 이용하여 모바일 로봇의 위치 (x, y) 를 식 (4), (5)에서 계산할 수 있다.

$$\theta = \theta_r + \theta_t \quad (1)$$

$$\Delta x = d \times \sin \theta \quad (2)$$

$$\Delta y = d \times \cos \theta \quad (3)$$

$$x = x_t - \Delta x \quad (4)$$

$$y = y_t - \Delta y \quad (5)$$

그림 2는 대상 객체의 위치가 좌표 평면 상 모바일 로봇의 좌측 하단에 있는 경우를 나타낸 것으로 식 (1)에 따라 계산된 각도 θ 의 범위가 90° 에서 180° 이다. 이 각도를 이용하여 식 (2), (3)에서 계산된 Δx , Δy 는 각각 양수와 음수이므로, 식 (4), (5)는 모바일 로봇의 위치 계산을 위해 사용될 수 있다. 대상 객체가 모바일 로봇의 좌측 하단에 있으면, 식 (1)의 각도 θ 의 범위가 180° 에서 270° 이다. 따라서, 이 각도를 이용하여 계산된 Δx , Δy 가 모두 양수이므로 모바일 로봇의 위치는 식 (4), (5)에서 대상 객체의 위치를 이용하여 계산된다. 또한, 대상 객체가 모바일 로봇의 좌측 상단에 있는 경우에도 본 논문에서 제안하는 실내 위치결정 방법은 대상 객체의 위치를 이용하여 모바일 로봇의 위치를 결정할 수 있다.

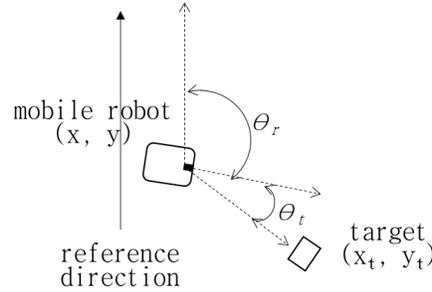


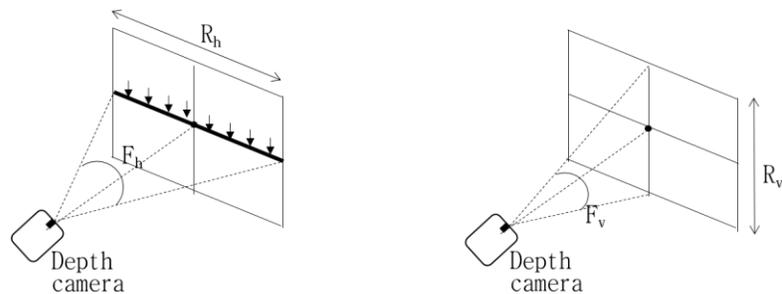
Figure 2. Case of the target positioned low left of the mobile robot.

그림 2. 대상 객체가 모바일 로봇의 좌표 평면 상 좌측 하단에 있는 경우

3.2 깊이 측정 카메라를 이용한 거리 측정

깊이 측정 카메라(depth camera)는 시야 영역(field of view, 화각) 범위에 있는 객체까지의 거리를 측정하는 것이다. 깊이 측정 카메라는 스테레오 비전, ToF 등 다양한 방법으로 객체까지의 거리를 측정하지만, 거리 측정 방법은 본 논문에서 기술하고자 하는 내용이 아니다. 따라서, 본 논문에서는 깊이 측정 카메라가 측정한 거리를 이용만 한다. 상용으로 공급되고 있는 대부분의 깊이 측정 카메라는 센서가 거리를 측정할 수 있는 가로, 세로 시야 영역 내에 있는 객체까지의 거리를 사전 설정된 해상도에 따라 측정하여 제공한다.

본 논문에서 제안하는 실내 위치결정 방법은 그림 1에 나타낸 것과 같이 모바일 로봇과 대상 객체 사이의 거리 d 와 모바일 로봇의 정면 방향 대비 대상 객체와의 각도 θ_t 를 기반으로 하고 있다. 그림 3는 깊이 측정 카메라의 거리를 측정할 수 있는 수평, 수직 시야 영역의 각도와 측정할 거리 데이터의 해상도를 나타내고 있다. 그림 3(a)는 깊이 측정 카메라가 거리를 측정할 수 있는 수평 방향의 시야 영역 각도 F_h 와 시야 영역 내 거리 측정 해상도 R_h 를 나타낸 것으로, 시야 영역 각도 F_h 내 한번의 수평 스캔으로 R_h 개의 측정 거리를 생성한다. 그림 3(b)는 깊이 측정 카메라의 수직 시야 영역 각도 F_v 와 거리 측정 해상도 R_v 를 나타낸 것으로 수직 방향으로 R_v 개의 측정 거리를 생성한다. 따라서, 시야 영역이 (F_h, F_v) 이고, 해상도가 $R_v \times R_h$ 인 깊이 측정 카메라는 각 측정 프레임에서의 거리 데이터를 크기가 (R_v, R_h) 인 배열로 표현한다.



(a) horizontal depth & field of view (b) vertical depth & field of view

Figure 3. Depth Camera's Horizontal/Vertical Field of View and Resolution

그림 3. 깊이 측정 카메라의 가로/세로 시야 영역 및 해상도

3.3 깊이 측정 카메라의 RGB 프레임을 이용한 각도 계산

본 논문에서 제안하는 실내 위치결정 방법은 수평 거리를 사용하므로 그림 3(a)에 굵은 선으로 표시한 영역의 데이터를 사용한다. 즉, 대상 객체까지의 거리는 수직 시야 영역 중심의 수평 거리 데이터 $(\frac{R_v}{2}, 1) \sim (\frac{R_v}{2}, R_h)$ 를 이용한다. 이때, 깊이 측정 카메라의 출력인 크기가 (R_v, R_h) 인 배열에서 대상 객체의 위치 p 가 결정되어야 배열 데이터 $(\frac{R_v}{2}, p)$ 에 저장된 대상 객체까지의 거리를 알 수 있다. 카메라가 캡처한 깊이 측정 데이터만으로는 대상 객체의 위치를 알 수

없으므로 본 논문에서는 일부 깊이 측정 카메라가 제공하는 RGB 프레임을 이용하여 객체의 위치와 각도를 계산한다.

그림 4(a)는 깊이 측정 카메라에서 제공하는 RGB 프레임 캡처를 위한 시야 영역을 나타낸 것으로 O_h 와 O_v 는 각각 수평, 수직 시야 영역이며, G_h 와 G_v 는 각각 수평, 수직 해상도를 의미한다. 카메라는 시야 영역의 RGB 데이터 즉, 이미지 데이터를 캡처하여 $(G_h, G_v, 3)$ 크기의 배열 데이터를 출력한다. 그림 4(b)는 YOLO 등의 객체 인식 모델을 사용하여 카메라에서 캡처한 이미지에서 객체를 찾고, 그 객체의 경계 상자(bounding box)의 수평 중심 점의 좌표 k 를 대상 객체로 나타낸 것이다. 앞서 기술한 바와 같이 본 논문에서 제안하는 실내 위치결정 방법은 그림 3(a)에 나타낸 것과 같이 수직 시야 영역 중심의 수평 좌표 k 를 이용하므로 캡처한 이미지의 좌표는 $(\frac{G_v}{2}, k)$ 가 된다. 이때, 모바일 로봇의 정면을 기준으로 한 대상 객체를 투사하는 방향의 각도 θ_t 는 식 6을 이용하여 계산된다.

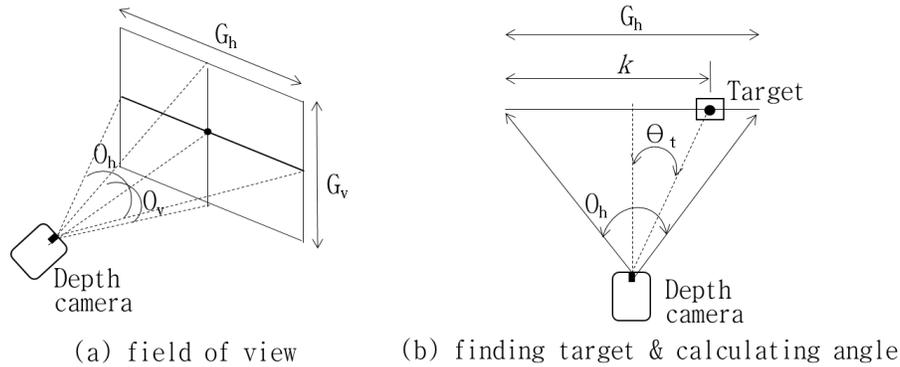


Figure 4. Camera's Field of View and calculation of angle between robot and target

그림 4. 카메라의 시야 영역과 로봇과 대상 객체의 각도 계산

$$\theta_t = \frac{O_h \times k}{G_h} \quad (6)$$

3.4 깊이 측정 카메라를 이용한 대상 객체까지의 거리

앞서 기술한 바와 같이 모바일 로봇에서 위치가 p 인 대상 객체까지의 거리는 깊이 정보를 저장하고 있는 배열 데이터 $(\frac{R_v}{2}, p)$ 이다. 하지만 깊이 측정 데이터만을 이용하여 객체의 위치를 알 수 없으므로 본 논문에서는 RGB 데이터 즉, 이미지 데이터에서 대상 객체를 찾고 그 위치—대상 객체 경계 상자의 수평 중심 점의 좌표 $(\frac{G_v}{2}, k)$ 중 수평 좌표— k 를 찾았다. 만약, 카메라의 깊이 측정과 이미지 캡처를 위한 시야 영역과 해상도가 동일하다면 p 의 값은 k 와 값은 같고, 이를 이용하여 접근한 배열 데이터는 대상 객체까지의 거리가 된다.

깊이 측정과 이미지 캡처를 위한 시야 영역이 동일하고 해상도가 다르다면 p 값은 해상도의 비율과 값 k 를 이용하여 계산된다. 하지만, 두 측정 데이터의 시야 영역의 범위가 다르다면 두 시야 영역 각도와 해상도를 모두 고려하여 k 값을 이용하여 p 값을 계산하는 방법이 필요하다. 그림 5는 깊이 검출과 이미지 캡처를 위한 시야 영역이 다른 경우에 각 인자들의 관례를 나타낸 것이다. 깊이 검출의 시야 영역이 이미지 캡처의 시야 영역보다 넓은 경우 즉, $F_h > O_h$ 이면 더 넓은 범위에 해당하는 깊이 검출 데이터를 해상도 R_h 로 나타내며, 상대적으로 좁은 범위의 이미지 데이터를 해상도 G_h 로 나타낸다.

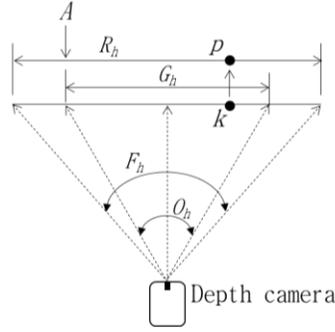


Figure 5. Conversion of index on from image frame to depth frame while two field of view are different.

그림 5. 시야 영역이 다를 때 이미지 프레임의 위치와 깊이 프레임의 위치 변화

앞서 이미지 캡처 데이터에서 검출한 대상 객체의 위치 k 를 이용하여, 그 객체까지의 거리를 얻기 위해 필요한 p 를 계산하는 방법은 다음과 같다. 식 7 은 깊이 검출을 위한 수평 시야 범위의 각도 당 깊이 데이터의 수 DoD(depth of degree)를 계산하는 것이다. 이것을 이용하여 이미지 데이터의 첫 번째 위치에서 해당하는 깊이 데이터의 위치 A 는 식 8 을 이용하여 계산할 수 있다. 즉, 깊이와 이미지의 시야 영역은 중심에 정렬되어 있으므로 깊이 검출의 시야 범위는 이미지의 시야 범위의 양 끝에 각도 $\frac{F_h - O_h}{2}$ 에 해당하는 영역이 더 존재하고, 각도 1° 당 DoD 개의 깊이 데이터가 있으므로, 이를 이용하여 깊이 데이터의 위치 A 가 계산된다. 그리고, 식 9 는 이미지의 시야 영역에 해당하는 깊이 데이터 범위 RoD(range of depth)를 계산하는 것이다. 식 10 은 이미지에서 검출한 대상 객체의 위치 k 를 이용하여 그 객체까지의 거리 데이터에 접근하기 위한 인덱스인 p 를 계산한다.

$$DoD = \frac{R_h}{F_h} \quad (7)$$

$$A = \frac{F_h - O_h}{2} \times DoD \quad (8)$$

$$RoD = R_h - 2 \times A \quad (9)$$

$$p = \frac{RoD \times k}{G_h} + A \quad (10)$$

본 논문에서 제안하는 실내 위치결정 방법은 깊이 검출 카메라가 캡처한 이미지에서 객체를 검출하여 위치 k 를 결정하고, 이것을 이용하여 식 6 과 10 을 이용하여 각도 θ_t 와 객체와의 거리를 데이터 접근을 위한 p 를 계산할 수 있다. 또, 로봇의 정면 방향과 기준 방향 사이의 각도 θ_r 를 검출한 후 실내 위치는 식 4 와 5 를 이용하여 결정할 수 있다. 이때 기준 방향을 위한 각도 θ_r 를 검출하는 것은 다양한 방법이 있을 수 있다. 예를 들어, 좌표 평면의 y-축이 북쪽을 향하도록 한다면 로봇에 설치한 지자기 센서 등을 이용하여 각도 θ_r 를 검출할 수 있다.

IV. 시험 구현 및 결과 분석

본 논문에서 제안하는 방법이 실내 위치의 결정에 적용될 수 있음을 보이기 위해 표 1 에 나타난 환경에서 시범적으로 구현하고, 그 결과를 분석하였다. 본 연구의 시험 구현은 깊이 검출과 이미지 캡처를 위한 해상도를 1280X720 로 설정한 Intel 사의 Realsense D435 를 사용하였다. 이때, 본 논문에서 제안하는 방법에서 사용하는 파라미터 R_h , F_h , G_h , O_h 는 각각 1280, 87, 1280, 69 이다. 또, 식 7 을 이용하여 계산한 DoD 는 14.7 로 깊이 검출 영역의 각도 1° 당 약 14.7 개의 깊이 데이터가 있음을 의미한다. 또, 식 8 을 이용하여 계산한 A 는 약 132.3 이며, 이것은 이미지의 가장 왼쪽 지점에 대응하는 깊이 검출 데이터의 위치 즉, 인덱스가 132 임을 의미한다. 즉, 인덱스 132 미만이 깊이 데이터는 이미지 캡처 범위의 바깥 영역에 해당한다. 식 9 를 이용한 RoD 는 1016 이다.

Table 1. environment of experimental implementation.

표 1. 시범 구현 환경.

OS	Ubuntu 22.04	
Language	Python 3.10	
Depth Camera	Intel Realsense D435	Depth: Field of View: 87° X 58° Resolution: 1280X720 RGB: Field of View: 69° X 42° Resolution: 1280X720

그림 6은 본 연구에서 시범 구현한 것을 실행한 화면을 나타낸 것으로 결과 분석을 위해 수직 방향의 중간에 선을 표시하였고, 수평 방향으로로는 화면 수평 해상도를 네 등분하여 각각 표시를 하였다. 시험 구현을 이용한 본 논문의 실험은 이미지의 수평 위치 중 3/4 위치—그림 6에 표시된 점 Q—에 대상 객체가 있다고 가정하고 진행하였다. 따라서, 이미지에서 대상 객체의 수평 위치 k 는 960이다. 이 값을 이용하여 식 10으로 계산한 p 의 값은 894이며, 이것은 이미지의 수평 위치 960에 있는 객체를 위한 깊이 데이터 접근을 위한 인덱스가 894임을 의미한다. 또, 각도 θ_t 는 대상 객체의 위치 Q가 시야 범위의 중심에서 1/4 떨어져 있으므로 17.25가 된다.

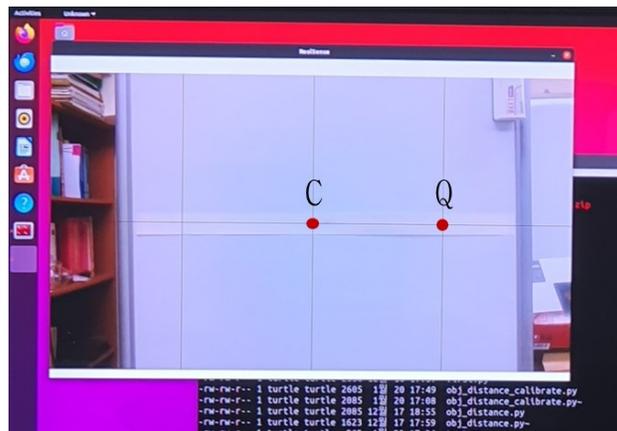


Figure 6. Screen shot of experimental implementation.

그림 6. 시험 구현을 실행한 화면

실험은 그림 7에 나타낸 것과 같이 깊이 측정 카메라를 고정하고, 깊이 측정을 위해 사용한 보드를 앞, 뒤로 이동시키며 진행하였다. 즉, 그림 6의 화면에 표시된 C와 Q에 대응하는 지점을 보드에 표시를 하고, 카메라와 보드의 거리 d_1 과 두 지점 C, Q 사이의 거리 d_2 를 실측한 후 본 논문에서 제안한 식 2, 3를 이용하여 Δy , Δx 를 구하고, 각각 실측 데이터와 비교를 하였다.

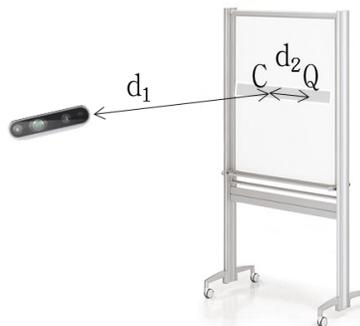


Figure 7. Experimental measure and test

그림 7. 시험 측정 및 시험

표 2는 d_1, d_2 의 실측 거리가 각각 733mm, 260mm 일 때 본 논문에서 제안한 방법에 따라 구한 $\Delta y, \Delta x$ 을 나타낸 것이다. 이때 동일 지점을 향해 측정된 깊이 데이터가 계속 변경되어 임의로 선택한 세 개의 데이터를 사용하였다. 좌표 평면에서 로봇의 y-축 좌표 계산을 위해 사용할 Δy 는 실측 데이터 733mm 대비 샘플링된 데이터는 약 4.5%의 오차를 보였다. 또, 좌표 평면에서 로봇의 x-축 좌표 계산을 위해 사용할 Δx 는 실측 데이터 260mm 대비 샘플링된 데이터는 약 16.5%의 오차를 보였다. 표 3 은 d_1, d_2 의 실측 거리가 각각 1030mm, 366mm 일 때 제안한 방법으로 구한 $\Delta y, \Delta x$ 을 나타낸 것이다. 실험 결과는 좌표 평면상 로봇의 위치결정에 사용될 $\Delta y, \Delta x$ 가 실측 데이터 기준 각각 약 1.7% 14.2%의 오차가 있었다. 이러한 오차는 카메라가 깊이 측정을 할 때 여러 환경적 요인이 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, 이동 로봇의 크기를 고려할 때 실험 결과에 나온 오차는 로봇의 실내 위치결정에 적용할 수 있는 범위 내에 있다고 판단된다.

Table 2. $\Delta y, \Delta x$ in the case of 733mm, 260mm표 2. 실측 733mm, 260mm 일 때 $\Delta y, \Delta x$

	Actual depth d1 = 733mm (calculated Δy)	Actual depth d2 = 260mm (calculated Δx)
Measured depth d=733mm	700(error: 33mm)	217(error: 43mm)
Measured depth d=737mm	703(error: 30mm)	218(error: 42mm)
Measured depth d=739mm	705(error: 28mm)	219(error: 41mm)

Table 3. $\Delta y, \Delta x$ in the case of 1030mm, 366mm표 3. 실측 1030mm, 366mm 일 때 $\Delta y, \Delta x$

	Actual depth d1 = 1030mm (calculated Δy)	Actual depth d2 = 366mm (calculated Δx)
Measured depth d=1060mm	1012(error: 18mm)	314(error: 52mm)
Measured depth d=1095mm	1045(error: 15mm)	324(error: 42mm)
Measured depth d=1076mm	1027(error: 3mm)	319(error: 47mm)

V. 결론

GPS 신호가 수신되지 않는 지하, 실내 환경에서 이동 로봇의 위치결정은 물품을 정해진 위치로 이동시키거나 보행에 어려움을 겪는 사람을 안내하는 등 위치를 기반으로 한 서비스에서 필수적인 환경 정보이다. 기존의 실내 위치결정 방법은 특정 위치에 태그를 부착하거나 주기적으로 신호를 전송하는 비콘 등을 사용하였지만 보행자 등으로 인해 태그를 인식하지 못하거나 노이즈가 있는 비콘 신호 등으로 인한 한계를 갖고 있다.

본 논문에서는 위치가 알려져 있는 대상 객체를 이용하여 로봇의 실내 위치를 결정하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 로봇과 대상 객체 간의 거리, 로봇의 정면을 기준으로 대상 객체가 있는 방향 즉, 각도를 이용한다. 이를 위해 카메라가 캡처한 이미지에서 검출한 객체의 화면상 수평 좌표와 이미지 캡처를 위한 시야 범위를 이용하여 각도를 계산하였다. 또, 대상 객체의 화면상 수평 좌표, 깊이 검출을 위한 시야 범위를 이용하여 깊이 데이터에 접근하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 거리와 각도 정보를 이용하여 좌표 평면에서 각 좌표 축에서의 변위를 결정하였고, 이 변위와 대상 객체의 좌표를 이용하여 이동 로봇의 좌표 즉, 실내 위치를 계산할 수 있다.

본 논문에서 제안한 실내 위치결정 방법의 핵심은 거리와 각도를 이용하여 좌표 평면 각 축의 변위를 계산하는 것이므로 이 방법이 실내 위치결정에 효과가 있음을 보이기 위해 시험적으로 구현, 실험을 하였다. 실험 결과에 의하면 실측한 변위와 약 50mm 이내의 오차를 보였으며, 이 오차는 이동 로봇의 크기를 고려할 때 충분히 납득할 수 있는 수준이라고 판단된다.

향후 연구과제는 깊이 측정 카메라와 함께 추가적인 센서를 활용하여 오차를 감소시키는 방안과 위치가 알려져 있는 두 개 이상의 대상 객체를 실내 위치결정에 사용함으로써 오차를

보정하는 방법을 도출하는 것이다.

VI. 감사의 글

본 과제(결과물)는 2023 년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-001(1345370811))

VII. 참고문헌

- [1] J. G. Park, Y. J. Kim, J. H. Lee, S. H. Lee, H. M. Park, Continuous indoor and outdoor location positioning using GPS latitude and longitude, Proceedings of the Korea Communications Society General Conference (Summer) 2013, pp. 216-207, Jun. 2013
- [2] S. U. Lee, S. U. Kim, Indoor positioning technology trends and prospects, Information & communications magazine, v.32 no.2, pp.81 – 88, 2015
- [3] S. H. Lee, Y. J. Kim, H. C. Bang, Experimental Verification of Multi-Sensor Geolocation Algorithm using Sequential Kalman Filter, Journal of Control and Robot Systems Society Vol. 21, No. 1, Jan. 2015
- [4] S. Y. Lee, J. K. Park, J. W. Park, J. E. An, H. J. Lee, Accuracy Evaluation of Indoor Positioning Using Beacons and Wi-Fi, KSCE 2022 CONVENTION, pp. 503 - 508 , Oct. 2022
- [5] R. Estrada, I. Valeriano, X. Aizaga, L. Vargas, N. Vera and D. Zambrano, WiFi Indoor Positioning System Based on OpenWRT, IEEE EUROCON 2023 - 20th International Conference on Smart Technologies, Torino, Italy, 2023, pp. 728-733, doi: 10.1109/EUROCON56442.2023.10199056
- [6] S. J. Han, Y. W. kwon, Indoor Positioning Method of Combining Bluetooth Sensor and Magnetometer, 2023 Korea Communications Society Summer Conference Paper Collection, pp. 691-692, June. 2023
- [7] S. Y. Cho, D. Y. Jung, E. H. Kim, UWB/Vision Network Optimization for Indoor Positioning of Mobile Robots and Analysis on Positioning Accuracy, 2023 Korea Communications Society Winter Conference Paper Collection, pp. 1279-1280, Feb. 2023
- [8] G. C. Go, S. H. Oh, J. G. Kim, VLC based Indoor Positioning Platform Development, 2022 Korea Communications Society Fall Conference Paper Collection, pp. 980-981, Nov. 2022
- [9] J. I. Kim, G. R. Kwon, A Study on Indoor Positioning Method using Smartphone with QR code Recognition, Proceedings of KIIT Conference, pp. 40-43, Jun. 2018

저자소개



김석진(Seokjin Kim)

2019년 3월 ~ 현 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사과정

관심분야: 인공지능, 데이터베이스



전승현(Seunghyeon Jeon)

2020년 3월 ~ 현 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사과정

관심분야: 기계학습, 데이터베이스



이태관(Taegwan Lee)

2019년 3월 ~ 현 한국교통대학교 AI 로봇공학과 학사과정

관심분야: 인공지능, ROS, 로봇제어



김승오(SeungO Kim)

2019년 3월 ~ 현 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사과정

관심분야: 기계학습, ROS



박채린(Chaelyn Park)

2020년 3월 ~ 현 한국교통대학교 컴퓨터공학과 학사과정

관심분야: 인공지능, 데이터베이스



구본근(Bongen Gu)

1998년 2월 경북대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사

1998년 4월 ~ 현 한국교통대학교 컴퓨터공학과 교수

2010년 8월 ~ 2011년 7월 미국 auburn 대학 방문연구교수

관심분야: 컴퓨터구조, 기계학습, ROS, IoT