

능동 전방향 거리 측정 시스템을 이용한 이동로봇의 위치 추정

Localization of Mobile Robot Using Active Omni-directional Ranging System

류 지 형, 김 진 원, 이 수 영*
(Jihyung Ryu, Jinwon Kim, and Sooyeong Yi)

Abstract : An active omni-directional ranging system using an omni-directional vision with structured light has many advantages compared to the conventional ranging systems: robustness against external illumination noise because of the laser structured light and computational efficiency because of one shot image containing 360° environment information from the omni-directional vision. The omni-directional range data represents a local distance map at a certain position in the workspace. In this paper, we propose a matching algorithm for the local distance map with the given global map database, thereby to localize a mobile robot in the global workspace. Since the global map database consists of line segments representing edges of environment object in general, the matching algorithm is based on relative position and orientation of line segments in the local map and the global map. The effectiveness of the proposed omni-directional ranging system and the matching are verified through experiments.

Keywords : omni-directional range data, structured light, active vision, line segment matching algorithm

I. 서론

이동로봇이 자율 주행하기 위해서는 현재 자신이 공간상에서 어디에 놓여 있는지를 알아내는 위치추정 기능과 실시간으로 주변환경 장애물을 감지할 수 있는 기능, 그리고 계획 생성을 위한 경로계획 및 제어 기능이 필요하다[1].

이동로봇 위치추정이나 주변환경 감지를 위해서는 이동로봇과 주변 물체 사이의 거리를 측정하기 위한 거리 센서가 필요한데, 흔히 사용되는 거리센서에는 초음파 센서, 레이저 센서, 마이크로웨이브 센서, 그리고 카메라 영상 센서 등이 있다. 여러 종류의 센서들 중에서 카메라 영상 센서는 상대적으로 풍부한 정보를 얻을 수 있으므로 가장 광범위하게 사용된다. 그러나 3차원 거리측정을 위한 스테레오 카메라 영상 시스템은 고전적인 대응점 문제(correspondence) 뿐만 아니라, 영상처리에 따르는 과도한 계산시간과 조명 상태에 따른 잡음 문제 때문에 현재의 기술수준으로는 실용성이 매우 떨어진다는 단점이 있다. 이러한 문제점들을 극복하기 위해 적외선이나 레이저 같은 구조적 조명과 단일 카메라를 사용한 능동 거리 측정 시스템이 제안되기도 하였다[2].

이동로봇은 어떤 방향으로든 움직일 수 있으므로, 운동 가능성을 높이기 위해서는 특정한 방향뿐만 아니라 이동로봇 주위 모든 방향에서 거리를 측정해야 할 필요가 있다. 전방향(Omni-directional)의 거리 정보를 획득하기 위해서는 일반적으로 센서 시스템을 스캔하거나 혹은 여러 개의 센서 모듈을 링 형태로 배치하는 방법을 사용한다.

그러나 이러한 방법은 여러 개의 센서 모듈 설치에 따르는 비용 부담이나, 회전 모터 기구 설치 및 제어에 따르는 부담이 있고, 또한 순차적인 센서 스캔, 혹은 회전에 따르는 신호 처리에 많은 계산 시간이 소요된다는 문제점이 있다[3]. 이러한 계산 시간 부담 때문에 주변환경 정보를 파악하기 위해서 로봇이 일시적으로 운동을 멈추어야 하는 경우도 있다.

이러한 전방향 거리측정에 따르는 문제점들을 극복하기 위하여 구조적 조명을 이용한 능동 영상 시스템과 전방향성 거울을 이용한 전방향 영상 시스템의 장점을 결합한 능동 전방향 영상 시스템이 제안된 바 있다[4,8]. 이러한 시스템은 360° 전방향성 정보를 스캔이나 모터 회전없이 한 장의 영상으로 얻을 수 있으며, 또한 조명 잡음에 강하고 스테레오 영상 처리에 필요한 대응점 문제가 없기 때문에 매우 빠르고 효율적으로 전방향 거리 데이터를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 전방향 거리 데이터는 주변 물체의 크기, 방향 및 배치를 나타내는 지역 지도 작성(local map-making)에 쓰이며, 이러한 지역지도는 다시 전역지도 작성에 쓰이거나 혹은 전역지도를 미리 알고 있다는 가정하에서 지도 정합에 의한 위치추정에 쓰일 수 있다.

본 논문에서는 [8]에서 제안된 능동 전방향 거리 측정 시스템으로부터 얻은 전방향 거리 데이터를 이용하여 이동로봇의 전역공간상 좌표를 추정하기 위한 정합 알고리즘을 제안하고자 한다. 일반적으로 전역 물체지도 데이터베이스는 물체의 변을 이루는 선분들로 구성되므로 본 논문에서 정합 알고리즘은 방향각을 기준으로 이산화된 전방향 거리 데이터로부터 선분들을 추출하고, 이들 선분들과 일치하는 전역지도 데이터베이스의 선분들을 탐색하는 과정으로 이루어진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 이해를 돕기 위하여 능동 전방향 거리 측정 시스템의 개요 및 거리 계산식에 대해서 설명하고, 3장에서는 미리 주어진 전역지도와

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 8. 29., 채택확정 : 2008. 3. 12.

류지형 : 전북대학교 전자정보공학부(loveasure@hanmail.net)

김진원 : 삼성전지(mwstar@hanmail.net)

이수영 : 서울산업대학교 전기공학부(suylee@snu.ac.kr)

※ 이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-313-D00314). 본 논문의 II장은 참고문헌[8]에서 발췌하였음.

의 정합 알고리즘을 설명한다. 그리고 4장에서 전방향 거리 측정 실험 및 정합에 의한 위치추정 실험 결과에 대해서 서술하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 능동 전방향 거리 측정 시스템

본 논문에서의 능동 전방향 거리측정 시스템은 360° 락 형태로 조사된 레이저 조명이 주변 물체의 모양과 거리에 따라서 왜곡되는 형태를 전방향 거울을 통해 관측하는 것이다. 다음 그림 1은 본 시스템의 개념도를 보여준다.

전방향 거울은 볼록한 그릇 모양을 가지며 외면에 반사되는 영상을 일반 카메라를 통해 얻으므로써 한 장의 영상으로 360° 전방향의 정보를 얻을 수 있다. 이는 60° 정도로 제한되어 있는 일반 카메라의 수평 시야각을 360°로 극대화한다는 의미가 있다.

전방향성 거울로는 원뿔형 거울, 구형 거울, 쌍곡면형 거울과 포물면형 거울이 있는데[5], 이들 중 쌍곡면형 거울과 포물면형 거울은 상대적으로 수직 시야각도 넓고 물체와 상사이의 관계식이 간단하므로 일반적으로 많이 사용된다[6]. 본 논문에서 능동 전방향 거리 측정 시스템은 포물면형의 전방향 거울을 사용하였다[8]. 참고로 [4]에서 제안된 시스템에서는 원뿔형 거울을 사용하였으며, 원뿔형 거울은 단일 시점 제한조건을 만족하지 않으므로 거리 계산이 복잡하다는 단점이 있다.

그림 2는 본 시스템의 거리 측정 원리를 설명하기 위한 수

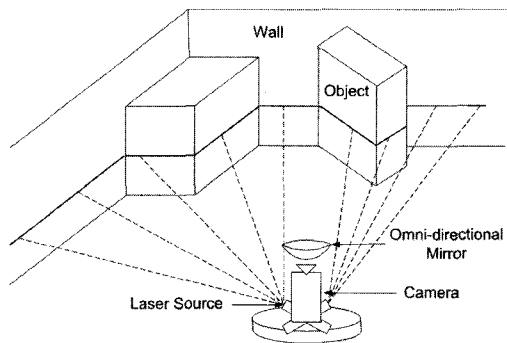


그림 1. 능동 전방향 거리 측정시스템 개념도.
Fig. 1. Illustration of the active omni-directional ranging system.

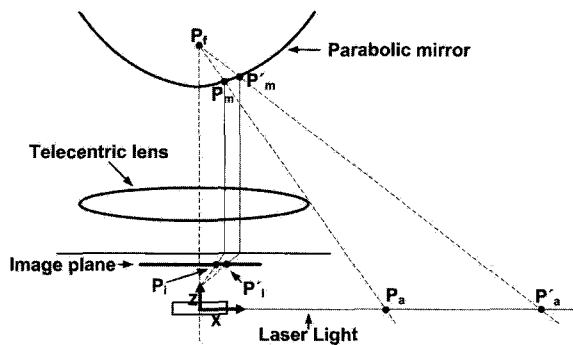


그림 2. 포물면형 거울과 레이저 구조적 조명을 이용한 전방향 측정 시스템.

Fig. 2. The omni-directional ranging system with the parabolic mirror and the laser structured light.

직 단면을 보여준다. 포물면형 거울은 그림 2에서 보이는 바와 같이 초점 P_f 를 향해 입사된 빛이 거울의 수직 축(Z)과 평행하게 반사된다는 특성이 있다. 그러므로 거울의 수직 하부에 초점거리가 매우 긴 텔레센트릭(telecentric) 렌즈를 이용한 직교 화상 영상 시스템이 필요하다[3].

그림 2와 같이 일정한 높이, z_c 에서 수평방향으로 레이저 구조적 조명을 조사하는 경우를 살펴보자. 그림에서 설명하는 바와 같이 같은 높이에 있는 두 점 $P_a(x_a, z_a)$ 와 $P'_a(x'_a, z'_a)$ 이 포물면형 거울 면상의 서로 다른 점 $P_m(x_m, z_m)$ 과 $P'_m(x'_m, z'_m)$ 에 반사되어 영상면에서 서로 다른 두 점 $P_i(x_i, z_i)$ 와 $P'_i(x'_i, z'_i)$ 에 맺히게 된다. 즉 같은 높이에 있더라도 거울로부터의 거리에 따라 영상면에 맺히는 상의 위치가 달라지게 된다. 그러므로 영상면에 맺히는 레이저 조명의 상을 관측하여 실제 거리를 계산할 수 있다.

측정된 레이저 조명의 영상 데이터로부터 실제 거리를 구하는 과정은 다음과 같다. 먼저 그림 2에 보인 바와 같이 레이저 조명을 기준 좌표계로 설정한다. 즉 레이저 조명의 높이를 $z_c = 0$ 으로 설정한다. 그러면 포물면형 거울의 곡선식은 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$z = \alpha x^2 + h \tag{1}$$

포물면형 거울에 있어서 계수 α 와 설치 높이 h 는 알고 있다고 가정한다. 포물면형 거울의 축으로부터 초점 거리는 다음과 같다.

$$f = \frac{1}{4\alpha} \tag{2}$$

그러므로 기준 좌표계에서 초점은 (3)과 같다.

$$P_f(x_f, z_f) = \left(0, h + \frac{1}{4\alpha} \right) \tag{3}$$

이제 공간상에서 레이저 조명이 조사된 점 $P_a(x_a, z_a)$ 와 초점 $P_f(x_f, z_f)$ 를 지나는 직선의 방정식은 다음 (4)와 같다.

$$z = -\frac{z_f}{x_a} x + z_f \tag{4}$$

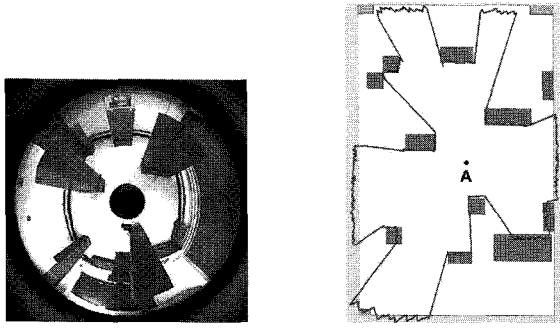
그러므로 두 식 (1)과 (4)를 결합하면 공간상의 거리 x_a 와 거울면 상에 맺히는 점 x_m 사이의 관계식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$x_a = \frac{z_f x_m}{z_f - h - \alpha x_m^2} \tag{5}$$

영상면 상의 점 x_i 은 간단하게 거울면의 점 x_m 에 비례상수 k 에 대해서 $x_m = k x_i$ 의 관계가 성립한다. 그러므로 이를 위 (5)에 대입함으로써 레이저 영상 데이터 x_i 와 실제거리 x_a 사이의 관계식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$x_a = \frac{k z_f x_i}{z_f - h - \alpha k^2 x_i^2} \tag{6}$$

영상면 비례상수 k 는 영상 시스템의 사전 캘리브레이션



(a) An omnidirectional image sample (b) Local distance map

그림 3. 전방향 영상 샘플과 지역 거리 지도.
Fig. 3. An omnidirectional image sample and the corresponding local distance map.

과정으로부터 결정할 수 있다.

물체의 방향은 영상면에서의 방향과 일치하므로 위 과정을 360° 모든 방향에 대해 적용함으로써 전방향 거리 데이터를 한 장의 영상으로부터 얻을 수 있다.

그림 3은 실험을 통해 얻은 전방향 영상 샘플(그림 3(a))과 (b)을 적용하여 얻은 전방향 거리 데이터(그림 3(b))이다. 샘플 영상에서 빨간색의 굵은 선이 레이저 조명을 나타낸다. 그림은 영상처리를 통해 얻은 레이저 조명을 강조하여 그린 것이다. 그림 3(b)는 샘플 영상에 대해서 방향각에 따라 이산화하여 얻은 레이저 영상점 데이터에 (6)을 적용하여 실거리 정보를 얻은 결과다. 실험 결과 5m 거리의 환경에서 6% 정도의 최대 측정 오차를 얻을 수 있었다[8].

III. 정합을 통한 위치추정 알고리즘

능동 전방향 거리 측정 시스템을 통해 얻은 전방향 거리 지도는 이동로봇 주변의 지역지도를 나타내며, 미리 주어진 전역 지도와의 정합을 통해 전역 공간상에서 이동로봇의 현재 위치를 추정할 수 있다.

지도 정합을 위한 전역 탐색 과정과 지역 탐색 과정이 있다. 전역 탐색은 로봇이 임의의 위치에 있다고 가정하고 전역 지도의 전 영역을 일일이 탐색하므로써 정합하는 것이다. 이러한 방법은 로봇이 어떤 위치에 놓이더라도 좌표 값을 알아낼 수 있으므로 초기 위치에 따른 영향은 없으나 탐색과정이 국부 최소점에 빠질 수 있고, 계산 시간이 많이 든다는 문제점이 있다[10]. 한편 지역 탐색 과정은 로봇이 어느 정도의 오차 한계를 갖는 영역내에 있다고 가정하고, 전역 지도에서 해당하는 영역만을 탐색하여 정합하는 것이다. 이 과정은 로봇 초기 위치에 따른 영향은 있으나 계산 시간이 적고 탐색과정이 국부 최소점에 빠질 가능성이 적다. 지도 탐색에 따른 정합과정을 효율적으로 하기 위해서는 초기에는 전역 탐색을 통해 위치 좌표값을 추정하고, 이후에는 로봇이 움직임에 따라 주변 영역만을 탐색하는 지역 탐색 방법을 조합해야 할 필요가 있다. 전역 탐색은 기본적으로 지역 탐색 방법을 전역 지도의 전 영역에 걸쳐 적용하는 것으로 확대 해석할 수 있으므로, 본 논문에서는 지역 탐색에 따른 정합 방법에 대해서만 설명한다.

전역지도 데이터베이스는 일반적으로 각 변을 나타내는

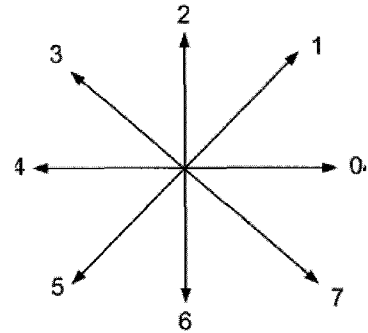


그림 4. 점들의 방향 양자화.
Fig. 4. Quantized direction of points.

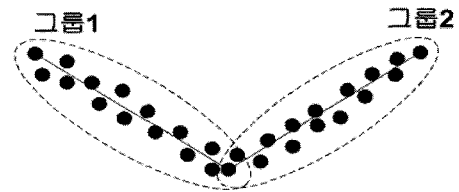


그림 5. 선분 분할.
Fig. 5. Line segments.

선분들로 모델링된 물체들로 구성되므로 지도 정합에 있어서 계산의 효율성과 오차를 줄이기 위해 선분 관계에 따른 정합 방법을 제안한다. 그림 3(a)의 샘플 영상으로부터 360° 각 방향각에 대한 이산화 과정에 따라 거리 점 데이터들이 얻어진다. 선분을 기반으로 정합을 하기 위해서는 먼저 이들 점 데이터들을 선분으로 만들어야 한다. 점들을 선분으로 만들기 위해서는 하나의 선분으로 간주할 점들의 그룹을 정해야 하는데, 기본적으로 점들 사이가 많이 떨어져 있으면 다른 그룹으로 정하였으며 가까이 있는 점들에서는 그림 4와 같은 양자화 방법을 사용하였다[7].

그림 4의 8가지 방향에서 (0,4), (1,5), (2,6), (3,7) 4가지의 그룹으로 방향을 나눌 수 있다. 0번 방향으로 점들이 존재하다가 1번 방향으로 점들이 존재하면 0번 방향으로 존재하는 점들과 1번 방향으로 존재하는 점들을 각각 다른 그룹으로 정한다. 이 과정을 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 그룹이 정해지면 이로부터 선분을 구성할 수 있다. 정해진 그룹에서 선분을 만드는 방법은 그룹의 처음 시작점과 끝점을 연결하는 방법을 사용한다.

그림 5의 과정으로부터 선분이 만들어지면 다음으로 지역 지도에서 찾은 선분들의 관계에 의해 전역 지도에서 같은 관계를 갖는 선분들을 찾아야 한다. 그림 6과 같이 지역 지도에서 찾은 선분 2개(Local line 1, Local line 2)를 정하고 각각의 선분과 전역 지도에서 길이가 가장 가까운 선분들(Global line 1, Global line 2)을 찾는다. 다음으로 지역 지도의 선분들(Local line 1, Local line 2) 사이의 각도와 전역지도의 선분들(Global line 1, Global line 2) 사이의 각도를 내적을 통해 비교하여 이 값들이 가까우면 지역지도에서 찾은 두 선분은 각각 전역지도에서 찾은 두 선분에 해당됨을 알 수 있다. 전역 선분 벡터들과 지역 선분들을 각각 G_1, G_2 및 L_1, L_2 라고 했을 때, 사이각 θ_0 과 θ_2 는 다음과 같이 구할 수 있다:

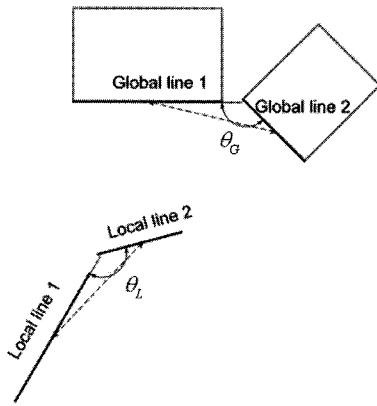


그림 6. 지역 지도와 전역 지도의 정합.
Fig. 6. Matching of local map and global map.

$$\theta_G = \cos^{-1} \left(\frac{G_1 \cdot G_2}{\|G_1\| \|G_2\|} \right) \quad (7a)$$

$$\theta_L = \cos^{-1} \left(\frac{L_1 \cdot L_2}{\|L_1\| \|L_2\|} \right) \quad (7b)$$

이 과정을 지역 지도에 포함된 모든 선분들에 적용하므로써 전역지도 상에서 해당 선분 쌍을 찾을 수 있다.

이제 대응 선분쌍 탐색 결과로부터 다음과 같이 이동 로봇의 위치를 추정할 수 있다. 지역 지도에서 찾은 선분(Local line 1)과 그에 해당하는 전역 지도 선분(Global line 1) 사이의 내적을 구하고 같은 방법으로 지역 지도에서 찾은 다른 선분(Local line 2)과 그에 해당하는 전역 지도 선분(Global line 2) 사이의 내적을 구한 후 이들 내적의 평균값을 취하여 지역지도의 회전 변환량, $\Delta\theta$ 를 구한다. 그리고 지역 지도 회전 변환 후에 지역 지도에 포함된 선분(Local line 1)과 그에 해당하는 전역 지도 선분(Global line 1) 사이의 x 축의 거리차와 y 축의 거리차를 구하고, 같은 방법으로 다른 모든 선분쌍의 거리차를 구한 후 이들의 평균값을 취하여 지역지도와 전역 지도를 일치시키기 위한 평행 위치 변환량, Δx 와 Δy 를 구한다.

결과적으로 이동 로봇의 좌표 값은 회전 및 위치 변환량 ($\Delta x, \Delta y, \Delta\theta$) 에 따라 보정하므로써 구할 수 있다.

IV. 실험결과

그림 1에서 보인 전방향 거리 측정 시스템은 640×480 해상도와 초당 30 프레임의 영상획득 속도를 갖는 카메라와 RemoteReality사[9]의 포물면형 거울로 구성되어 있다. 그러므로 한 장의 전방향 영상을 얻는데 대략 30ms 정도가 소요된다. 그리고 360° 전방향으로 레이저를 조사하기 위해 각각 90° 이상의 빔폭을 갖는 4개의 적색 레이저 다이오드를 조합하여 사용하였다. 하나의 레이저로 360°를 조사할 수 있도록 광학계를 구성할 수 있으나, 이 경우 레이저의 용량을 고려해야 한다.

체택한 거울의 (1)로 표현되는 곡선식의 계수와 설치 높이는 (8)과 같이 주어졌다. 그리고 (3)에 주어진 값을 반영하면 초점의 좌표 값은 다음과 같다.

$$\alpha = 1/66.8, \quad h = 1191 \quad (8a)$$

$$P_f(x_f, z_f) = (0, 1207.7) \quad (8b)$$

여기서 길이는 모두 mm 단위를 갖는다.

그림 7은 이동로봇 실험공간의 물체 배치도를 나타낸다. 물체 배치도로부터 각 물체의 변을 나타내는 선분들로 구성되는 전역 지도 데이터베이스를 구축할 수 있다.

그림 8은 물체 배치도 상의 B 지점 부근에서 능동 전방향 거리 측정 시스템으로 얻은 레이저 영상이다. B 점의 실제 좌표 값은 (1440, 2526) mm 이나 이후의 정합과정에서 이는 미지의 값으로 가정하였다.

그림 9(a)는 그림 8의 전방향 영상을 방향각에 따라 0.5° 간격으로 이산화하고 거리 계산식 (6)을 적용하여 얻은 총 720개의 전방향 거리 데이터와 이를 선분 그룹으로 분할하여 얻은 지역지도도를 보여준다. 점들은 이산화된 거리 데이터를 나타내며, 굵은 선들이 선분을 나타낸다. 물론 이산화 과정에서 영상의 방향각은 모르는 것으로 가정하였다. 그림 9(b)는 이해를 돕기 위하여 점 B의 정합이전 추정 위치에서 얻은 지역 지도도를 미리 주어진 전역 물체 지도상에 덧씌워 그린 그림이다.

그림 9의 지역지도에 대해서 III절에서 서술한 바와 같은

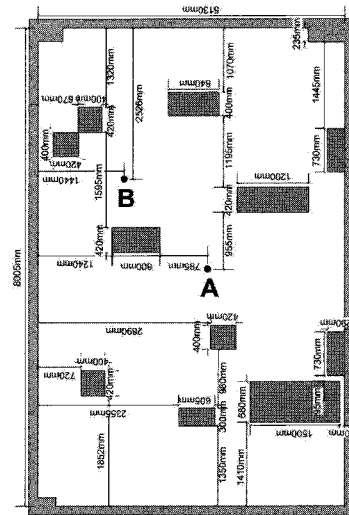


그림 7. 로봇 이동 공간의 물체 배치도.
Fig. 7. The object layout in the workspace.

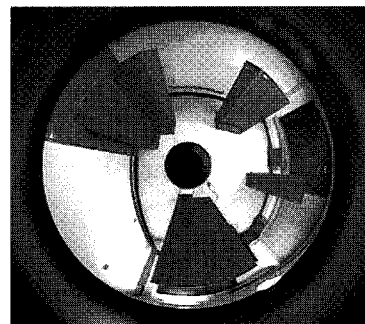
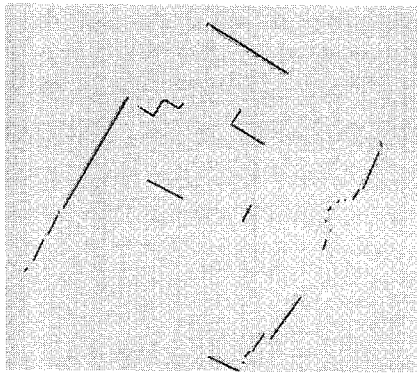
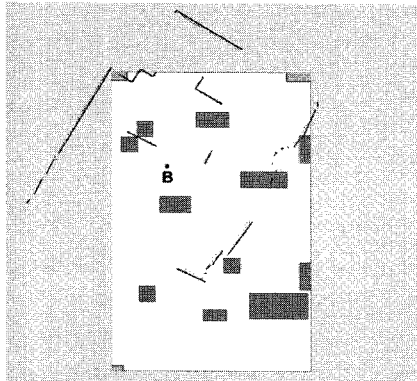


그림 8. B지점 부근에서 얻는 레이저 전방향 영상.
Fig. 8. The omni-directional laser image taken around point B.



(a) Local map consisting of line segments



(b) Local map and global map before matching

그림 9. 정합을 위한 지역 지도와 전역지도.

Fig. 9. Local map and global map for matching.

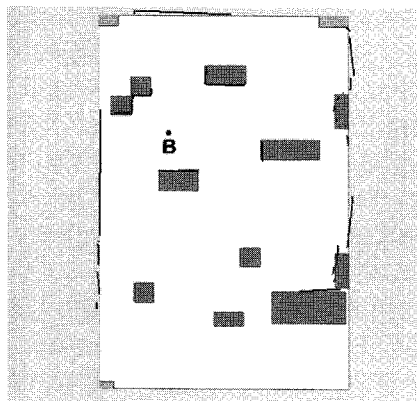


그림 10. 정합 결과.

Fig. 10. Matching result.

지도 정합과정을 거쳐 얻은 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림은 정합과정에서 얻은 회전 및 위치 변환량 ($\Delta x, \Delta y, \Delta \theta$)을 그림 9(a)의 지역 선분지도에 적용하고 전역 물체 배치도에 덧씌워 나타낸 것이다. 정합을 통한 보정 이전의 영상획득 위치 및 방향각 측정 오차는 각각 $e_x > 200\text{mm}$, $e_y > 300\text{mm}$, $e_\theta > 40^\circ$ 였으나, 정합 과정을 통해 얻은 위치 및 방향각 추정 오차는 $e_x \approx 20\text{mm}$, $e_y < 10\text{mm}$, $e_\theta < 1^\circ$ 임을 볼 수 있었다. 이러한 정합 추정오차의 크기는 측정 위치에서 각각 다른 방향각으로 10회 거리 데이터를 측정하고 정합

과정을 거쳐 통계적으로 얻은 것이다.

한 장의 전방향 영상에 대해서 정합을 통해 이동 로봇의 위치를 보정하는데 까지 소요되는 시간은 영상 획득에 필요한 30ms를 포함하여 대략 50ms 정도 임을 확인하였다. 그러므로 20Hz 정도의 속도로 위치 추정이 가능하다.

V. 결론

전방향 거울과 레이저 구조적 조명을 이용한 능동 전방향 거리 측정 시스템은 조명잡음에 강하고, 한 장의 영상으로 주변 360° 모든 영역의 정보를 획득할 수 있으므로 계산 부담이 적고 매우 효율적이다. 본 논문에서는 능동 전방향 거리 측정 시스템으로 얻은 전방향 거리 데이터를 활용하여 미리 알고있는 이동 로봇 환경의 물체지도 정보와 정합하므로써 이동 로봇의 위치를 추정하기 위한 정합 알고리즘을 제안하고 실험을 통해 확인하였다. 일반적으로 전역지도 데이터베이스는 물체의 변을 이루는 선분들로 구성되므로 제안하는 정합 알고리즘도 선분들을 기준으로 하는 방법을 택하였다. 정합 알고리즘은 크게 이산화된 전방향 거리 데이터를 그룹화하여 선분을 추출하는 단계와 전역지도 데이터베이스와의 선분 정합을 위한 탐색단계, 그리고 정합된 선분들의 위치 및 회전 변환량으로부터 이동로봇의 위치 추정량을 보정하는 단계로 이루어진다. 전방향 영상 시스템으로 얻어진 한 장의 레이저 영상에 대해서 제안한 정합 알고리즘을 적용하여 이동 로봇의 추정 위치를 보정하는데 까지 소요되는 시간은 대략 50ms 이하였으며 위치 추정 오차가 30mm 미만, 그리고 방향각 추정 오차가 1° 미만임을 확인하였다.

본 논문의 정합 알고리즘은 직선 선분을 기준으로 하므로 주변 환경 물체들도 모두 직육면체로 이루어졌다고 가정하였다. 곡면을 가진 물체의 경우에 직접 적용하는 것은 어려우나, 일반적으로 곡선은 몇 개의 직선 선분들로 근사화할 수 있으므로 제안한 알고리즘을 확장 적용할 수 있을 것이다. 또한 레이저 영상처리에 있어 가장 큰 문제점은 복잡한 주변 영상에서 어떻게 레이저 특징점을 찾아낼 것인가 하는 것이다. 본 논문에서는 영상처리 자체보다는 정합을 통한 위치추정에 초점을 맞추었으므로 단순히 주변 조명을 어둡게 하여 레이저 영상이 부각되도록 하고 실험하였다. 이러한 방식은 실제 응용에 문제가 있으므로 가시영역대가 아닌 적외선 레이저 광원과 적외선 영상 필터를 사용한다면 레이저 특징점 추출이 용이해질 수 있을 것이다.

참고문헌

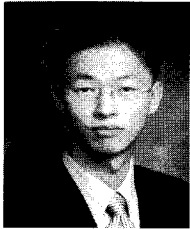
- [1] S. Cameron and P. Probert, *Advanced Guided Vehicle*, World Scientific, 1994.
- [2] R. Jain, R. Kasturi, and B. Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995.
- [3] S. Nayar, "Catadioptric omnidirectional camera," *Proc. of IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 482-488, 1997.
- [4] I. Joung and H. Cho, "An active omni-directional range sensor for mobile robot navigation," *Control Engineering Practice*, vol. 6, pp. 385-393, 1998.
- [5] A. Bruckstein and T. Richardson, "Omniview Cameras with Curved Surface Mirrors," *Proc. of IEEE Workshop on*

Omnidirectional Vision, pp. 79-84, 2000.

- [6] K. Yamazawa, Y. Yagi, and M. Yachida, "Obstacle detection with omnidirectional image sensor hyperomni vision," *Proc. of IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1062-1067, 1995.
- [7] T. S. Chan and Raymond K. K., "Line Detection Algorithm," *IEEE Proceedings of ICPR '96*, 1996.
- [8] S. Yi, B. Choi, and N. Ahuja, "Real-time omnidirectional

distance measurement with active panoramic vision," *Int'l Jour. of Control, Automation, and Systems*, vol. 5, no. 2, pp. 184-191, 2007.

- [9] <http://www.remotereality.com/>
- [10] I. J. Cox, "Blanche-an experiment in guidance and navigation of an autonomous robot vehicle," *IEEE Tr. On Robotics and Automation*, vol. 7, no. 2, pp. 193-204, 1991.



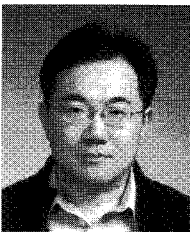
류지형

2005년 2월 전북대학교 전자정보공학부 졸업(공학사). 2007년 2월 전북대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 2008년 3월~현재 전북대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 이동로봇, 지능제어, 자동화시스템.



김진원

2003년 8월 전북대학교 전자정보공학부 졸업(공학사). 2006년 2월 전북대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 2006년 2월~현재 삼성전자 정보통신연구소 연구원. 관심분야는 지능제어, 이동로봇.



이수영

1988년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1990년 2월 KAIST 전기및전자공학과 졸업(공학석사). 1994년 8월 KAIST 전기및전자공학과 졸업(공학박사). 1995년 3월~1999년 8월 KIST 시스템연구부 선임연구원. 1997년 2월~1998년 2월 Univ. of Southern California 박사후과정. 1999년 9월~2007. 2월 전북대학교 전자정보공학부 부교수. 2005년 6월~2006년 8월 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 방문교수. 2007년 3월~현재 서울산업대학교 전기공학과 부교수. 관심분야는 보행로봇, 로봇비전, 이동로봇 센서.