

확률론에 기반한 점자블록 추종 알고리즘 및 센서장치의 개발

Development of Sensor Device and Probability-based Algorithm for Braille-block Tracking

노치원*, 이성하, 강성철, 홍석교

(Chi-Won Roh, Sung-Ha Lee, Sung-Chul Kang, and Suk-Kyo Hong)

Abstract : Under the situation of a fire, it is difficult for a rescue robot to use sensors such as vision sensor, ultrasonic sensor or laser distance sensor because of diffusion, refraction or block of light and sound by dense smoke. But, braille blocks that are installed for the visually impaired at public places such as subway stations can be used as a map for autonomous mobile robot's localization and navigation. In this paper, we developed a laser sensor scan device which can detect braille blocks in spite of dense smoke and integrated the device to the robot developed to carry out rescue mission in various hazardous disaster areas at KIST. We implemented MCL algorithm for robot's attitude estimation according to the scanned data and transformed a braille block map to a topological map and designed a nonlinear path tracking controller for autonomous navigation. From various simulations and experiments, we could verify that the developed laser sensor device and the proposed localization method are effective to autonomous tracking of braille blocks and the autonomous navigation robot system can be used for rescue under fire.

Keywords : braille-block, MCL algorithm, laser sensor scan device, rescue robot, autonomous navigation

I. 서론

이동로봇은 실내 혹은 실외에서 항법알고리즘에 따라 자율적으로 지정된 목적지까지 이동할 수 있는 로봇을 말하며 마이크로프로세서의 처리능력의 향상과 다양한 센서의 개발로 인해 그 활용분야가 점차 증가하고 있다. 초기에는 공장에서 물건수송용으로 사용되었으나 최근에는 실내용의 경우 박물관이나 전시장의 안내로봇, 청소로봇, 노약자를 위한 간호로봇 등의 목적으로 개발되고 있으며 실외용의 경우 순찰이나 정찰, 행성탐사 등의 목적으로 개발이 되고 있다. 이동로봇이 자율적으로 임무를 수행하기 위해서는 센서를 통해 주변 환경을 인식하는 기능과 자기위치추정 기능, 충돌회피나 경로계획 등의 기능이 요구된다[1]. 일반적으로 환경을 표현하는 지도를 표시하는 방식으로는 격자지도(grid map) [2]와 위상지도(topological map) [3] 혹은 두가지 방법을 혼합하는 방법 [4]이 제안되어 왔다. 위치추정 알고리즘으로는 주변환경까지의 거리 데이터를 호프변환(Hough transform)하여 직선을 추출하여 매칭 [5]하거나 거리 데이터를 점대점 매칭하는 ICP (Iterative Closest Point) 방법[6], 각도나 거리의 히스토그램 분포를 비교하는 방법 등이 제안되었으며 스캔 매칭에 의한 방법 [7]으로 분류할 수 있다. 확률론적 방법으로는 ML(Markov Localization) 알고리즘[8]과 MCL(Monte Carlo Localization) 알고리즘[9]이 제안되었다.

최근 들어서는 각종 테러사건 및 재난사고가 빈번하게 발생하고 있으며 안전 확인이 되지 않은 재난 현장은 매우 위험하기 때문에 구조 요원이 초기에 투입되지 못하여 더 큰 피해를 보는 경우가 많이 발생한다. 이러한 이유 때문에 사

람을 대신하여 초기에 투입하기 위한 구조용 로봇의 필요성이 대두되었고, 이동로봇 기술의 발전에 따라 구조용 로봇 기술 역시 급속히 발전하고 있다[10]. 일반적으로 구조용 로봇은 원격 조종자에게 재난현장 상황을 전송하기 위한 영상장치와 전방이나 측면까지의 거리를 측정하여 환경지도 작성 및 주행을 위한 초음파(ultrasonic) 센서, 적외선(IR: Infra-Red) 센서, 레이저 거리 측정계(laser range finder) 등의 다양한 센서들을 장착하고 있다. 그러나, 화재 현장의 경우에는 연기로 인한 빛의 차단 및 산란에 의하여 현재 대부분의 구조용로봇에 사용하고 있는 레이저 거리 측정 센서나 영상장치의 성능이 저하되거나 사용하기 어렵게 된다. 즉, 원격 조종자는 로봇의 카메라를 통해 주변 환경을 파악하기 어렵고, 일반적인 레이저 거리측정 센서 장치 역시 사용이 어렵게 되어, 로봇은 정상적인 임무를 수행하기가 어려워진다. 이러한 제한된 환경에서 구조 로봇의 성능을 극대화 하기 위해서는 농연상태에서도 주변 환경을 인식할 수 있는 센서 장치 및 위치인식을 위한 알고리즘이 요구된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 점자블록의 인식 및 위치추정 방법을 고안하게 되었다. 지하철 역사나 대형 건물 등의 통로에는 시각 장애인을 위한 점자블록이 설치되어 있다. 점자블록은 일정한 형태의 돌출부를 갖고 있으며 시각 장애인에게 통로유도 및 위험경보 등의 정보들을 전달해 주는 기능을 갖고 있다. 농연에 의해 전방 및 측면까지의 거리를 측정할 수가 없는 환경에서 점자블록을 인식하고 점자블록이 제공하는 유용한 정보들을 이용한다면 구조 로봇의 위치추정 및 자율 주행이 가능하게 된다.

본 논문에서는 연기가 있는 조건에서 사용 가능하고, 점자블록의 단차를 측정할 수 있는 정밀도를 갖는 레이저 거리측정 장치를 개발하였으며 또한, 센서정보의 불확실성 및 환경지도의 불확실성을 고려한 확률론 기반의 MCL 알고리즘을 적용하여 자율주행시스템을 개발하였다. 컴퓨터 모의실험을 통해 그 활용 가능성을 검증하였으며 실제 구조 로봇으로 실

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 12. 5., 채택확정 : 2007. 2. 7.

노치원, 홍석교 : 아주대학교 전자공학부

(crl88@naver.com/skhong@ajou.ac.kr)

이성하 : 현대자동차(sungha@hyundai-motor.com)

강성철 : 한국과학기술연구원(kasch@kist.re.kr)

협하여 제안한 장치 및 알고리즘의 성능을 검증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 점자블록 인식을 위한 레이저 센서장치를 설명하고 점자블록 인식에 의한 위치추정 방법 및 자율주행에 관한 내용은 III장에서 다루었다. IV장에서는 모의실험결과와 V장에서는 실제 실험을 통하여 제안한 알고리즘의 우수성을 확인하였으며 VI장에서 결론을 언급하였다.

II. 점자블록 인식을 위한 레이저 센서장치 개발

1. 시각 장애인 안내용 점자블록

지하철 역사나 대형 건물과 같은 대중이용시설의 바닥을 보면 그림 1과 같은 블록이 일정한 형태를 이루면서 설치되어 있는 것을 볼 수 있다. 이것을 시각 장애인 안내용 점자블록이라고 한다[11].

점자블록은 그림 1의 왼쪽의 경고블록과 오른쪽의 유도블록 두 가지 형태가 있다. 경고블록은 가로 세로 6개 씩 총 36개의 돌출점으로 구성되어 있으며 진행 방향에 길의 끝 부분이나 분기점, 계단, 주요 시설과 같이 전방에 주의해야 할 것이 있다는 것을 알려주는 역할을 한다. 유도블록은 일정한 간격으로 4개의 돌출선이 있으며, 선의 방향은 이동 경로를 나타내며 시각 장애인이 배열되어 있는 블록의 선이 향하는 방향을 따라 움직이도록 유도하는 역할을 한다. 점자블록의 크기는 300mmx300mm이며 돌출부의 높이는 점형은 6mm이고 선형은 5mm이다.

2. 레이저센서 스캔장치 개발

일반적으로 이동로봇은 레이저나 초음파를 이용한 거리측정센서를 장착하여 주변까지의 거리측정에 의해 환경지도를 작성하거나 자기위치추정을 수행하지만 화재현장에서는 농연으로 인하여 빛과 초음파의 산란 및 차단으로 거리가 멀어지면 측정이 어려운 경우가 발생한다. 그러나 통로바닥에 점자블록이 설치된 장소라면 점자블록과 가까운 거리에서 점자블록의 요철을 감지하여 환경지도 및 자기위치추정에 활용할 수 있을 것이다. Yoshida등 [12]은 로봇에 레이저 슬릿을 장착하여 점자블록에 레이저광을 투사하고 로봇의 카메라를 이용하여 그 투사된 형태를 영상 처리하여 점자블록을 인식하였다. 그러나 레이저 슬릿과 카메라를 이용한 방식은 연기가 차 있는 공간에서는 사용하기가 어렵다. 측정 대상 물체인 점자블록과 로봇과의 거리가 멀기 때문에 측정 매개체인

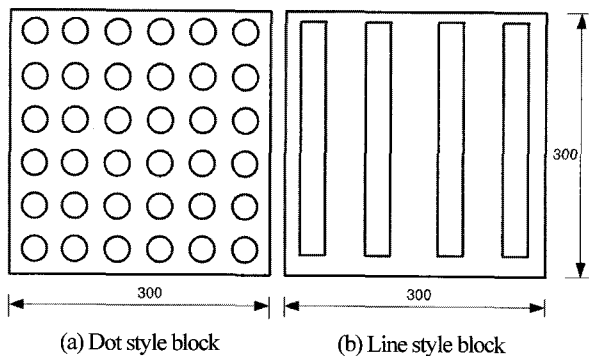


그림 1. 두 종류의 점자블록(단위: mm).
Fig. 1. Two styles of braille block [11](unit: mm).

레이저 빛이 산란되어 버리기 때문이다. 그러므로 연기가 있는 공간에서 단차 5mm의 점자블록을 측정할 수 있어야 하며 대상물인 점자블록과 최대한 가깝게 설치하여 산란을 줄일수 있는 측정장치의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 조건을 만족하는 그림 2와 같이 6개의 레이저 센서를 이용한 레이저 스캔 방식의 센서 장치를 개발하였다.

농연에서도 안정적으로 점자블록의 표면을 측정하기 위해 출력이 높은 Omron사의 Class 2급 ZX-LD100[13] 6개를 100mm 간격의 격자 형태로 배열하여 모노캐리어(linear motion guide+lead screw)에 부착하였다. 센서 장치에 장착된 모터를 이용하여 모노캐리어의 리드스크류를 정/역방향으로 회전시키면 부착된 센서들이 스크류축의 회전 방향에 따라 좌우로 이동하게 된다. 센서 장치는 좌우로 움직이면서 대상물인 점자블록의 표면을 스캔하게 되며, 4개의 센서가 100mm 간격으로 장착되어있기 때문에, 레이저센서 스캔장치는 한 번의 100mm 이동으로 400mm를 스캔 할 수 있다. 개발한 레이저 센서 스캔장치의 성능은 표 1과 같다.

3. 레이저거리 측정 센서의 연기환경에서의 성능실험

레이저센서 스캔장치에 사용한 ZX-LD100 레이저거리 측정 센서의 연기환경에서의 성능을 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 그림 3과 같은 실험용 장치를 만들어 내부에 연기를 발생하도록 하고 연기가 균일하게 퍼지도록 팬을 장착하였다. 장치의 중간에는 빛이 차단되는 양을 측정하기 위한 센서를 장착하였으며 옆에 레이저거리 측정 센서로 거리값이 정상적으로 출력되는지를 확인하였다.

실험은 연기의 농도를 점점 증가시키면서 연기를 투과한 빛의 양을 측정하였고 동시에 레이저 거리센서의 출력값을 측정하였다. 실험 결과 150mm 떨어진 거리에서 빛의 90%가 연기에 의해 차단되어도 레이저 거리센서의 거리 측정에는 문제가 없었으며 실제 레이저거리 스캔장치는 100mm 이하

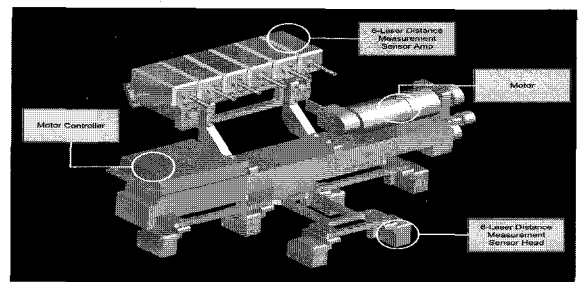


그림 2. 레이저 센서를 배열하여 만든 레이저센서 스캔 장치.
Fig. 2. Design of the laser sensor scan device.

표 1. 레이저센서 스캔장치의 성능.

Table 1. The specification of laser sensor scan device.

측정시간	0.5초
스캔장치 이동거리	400mm
점자블록 측정거리	100mm ± 40mm
이송방향 정확도	1mm
점자블록 측정정확도	0.5mm
통신방식	CAN 2.0B, 1Mbps

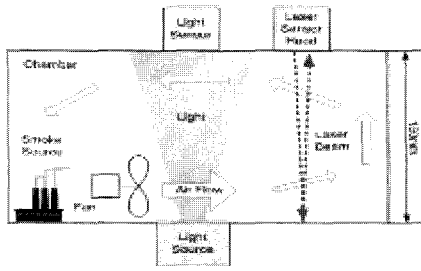


그림 3. 레이저센서의 연기환경 성능실험용 장치.
Fig. 3. The chamber for laser sensor test under a smoke environment.

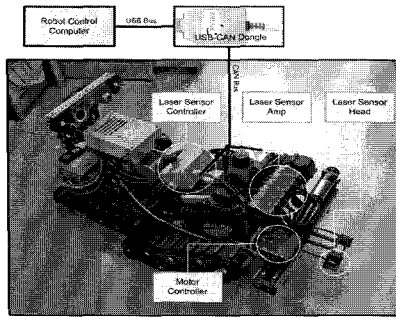


그림 4. 레이저센서 스캔장치를 장착한 ROSCUE 구조로봇.
Fig. 4. ROSCUE robot system with laser sensor scan device.

거리의 점자블록을 측정하기 때문에 실험보다 더한 상황에서서도 거리측정에는 문제가 없을 것이다.

4. 로봇 시스템 구성

점자블록을 감지하기 위해 개발된 레이저센서 스캔장치를 그림 4와 같이 KIST에서 개발된 구조용 로봇 ROSCUE (RObot for reSCUE)에 바닥으로부터 100mm 높이가 되는 부분에 장착하였다. 레이저센서 스캔장치에는 모노캐리어를 구동하고 레이저 센서 데이터들을 처리하는 DSP가 있어 CAN(Controller Area Network) 인터페이스를 통해 ROSCUE의 제어컴퓨터에 연결된다. ROSCUE의 제어컴퓨터는 DSP로부터 전송된 거리 정보를 이용하여 점자블록을 인식하여 위치 추정 알고리즘과 자율주행 알고리즘을 수행하여 로봇을 구동한다.

III. 점자블록 인식을 이용한 자율주행

1. 점자블록 지도와 위상지도

대형 건물과 지하철 역사와 같은 대중이용시설의 건물 바닥에는 시각 장애인에게 길을 안내하기 위한 점자 블록이 설치되어 있다. 점자블록은 그림 6과 같이 유도블록(선형)과 경고블록(원형)으로 구성되어 있으며, 일정한 규칙에 따라 설치되어 지도의 역할을 한다. 점자블록 지도를 나타내는 그림 5에서 유도블록(선형)이 좌측으로 90도 꺾이는 부분, T자 형태의 교차로 부분과 로봇이 이동해야 할 끝 부분에 경고블록(원형)이 설치되어 있는 것을 볼 수 있다. 점자블록 지도는 교차로나 계단과 같은 특이점의 시작점 및 끝점을 나타내는 경고블록과 경고블록을 연결하는 유도블록으로 연결되어 구성된다. 이러한 점자블록의 특성을 고려하면 위상지도로 나타내는 것이 효과적이다. 그림 5의 오른쪽은 점자블록 지도를 위상지도로 나타낸 것이며 점자블록의 경고블록을 노드

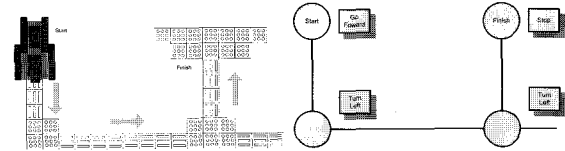


그림 5. 점자블록과 위상지도 변환.
Fig. 5. Braille blocks and topological map transformation.

로 경고블록을 연결하는 통로 역할을 하는 유도블록을 예시로 나타내고 각 노드에는 주행에 필요한 회전방향 및 노드간의 거리등의 정보를 표시한다. 구조로봇은 위상지도 정보를 이용하여 위치추정 알고리즘에 의해 노드간의 경로를 따라 자율주행을 수행한다.

2. MCL(Monte Carlo Localization) 위치추정 알고리즘

로봇이 자율주행을 수행하기 위해서는 자신의 위치를 알고 있어야 하며 일반적으로 로봇내부센서인 거리측정계(odometry)나 외부센서인 레이저센서를 이용하거나 카메라를 이용한 영상정보를 이용하여 로봇이 알고 있는 지도 정보와 비교하여 현재 자신의 위치를 찾는 위치추정 작업을 수행한다. 로봇이 연기가 가득 차 있는 재난 현장에서는 레이저 거리 측정 센서나 카메라가 제대로 동작을 할 수 없기 때문에 개발된 레이저센서 스캔장치로 건물 바닥에 설치된 점자블록을 인식하여 위치추정을 수행한다.

위치추정 알고리즘중에서 MCL(Monte Carlo Localization) 알고리즘은 효율이나 위치추정을 수행하기 위한 계산 시간, 적용의 용이성등에서 강점을 가지고 있는 것으로 알려져 있으며 이 방법을 적용하여 로봇의 거리측정계 데이터와 레이저 센서 스캔장치의 거리정보를 이용하여 위치추정하는 알고리즘을 구현하였다.

MCL 알고리즘은 Bayes 필터를 기본으로 하는 particle 필터를 이동로봇의 위치추정에 적용한 알고리즘이다[9]. Bayes 필터는 시스템 상태의 확률적인 분포를 belief로 나타내며 시스템의 제어입력으로 예측하고 측정데이터를 이용하여 갱신하는 두 단계를 통해 시스템의 belief를 재귀적으로 계산하는 알고리즘이다. 반면에 particle 필터는 posterior belief를 M개의 표본 혹은 particle의 집합으로 나타낸다.

MCL 알고리즘은 particle 필터를 위치추정에 적용한 것으로 일반적으로 시스템 확률모델로 이동로봇의 기구학모델을 적용하고 측정모델에는 환경지도에 따른 상관관계에 따른 모델(correlation-based model)이나 특징점에 따른 모델(feature-based model)등 여러가지 센서모델이 사용된다. MCL 알고리즘은 샘플들로부터 위치추정을 하며 위치추정의 정확도와 계산시간이 서로 trade-off 관계가 있으므로 로봇이 운영되는 상황에 따라 샘플의 수를 변경하여 실시간 주행이 가능하도록 알고리즘을 적용할 수 있다.

3. 경로 추종 제어기의 설계

ROSCUE 구조로봇은 수동 이종트랙구조로 되어 있으며 논홀로노믹(nonholonomic) 특성을 갖는다[10]. 논홀로노믹 특성을 갖는 이동로봇의 경로 추종 제어기로 여러가지 비선형 제어기가 제안되었으며 특히 Kanayama등 [14]은 직각좌표계에서 경로의 기준 선속도와 각속도가 0이 아닌 경우에 기구학적 비선형 제어기를 제안하여 점근적 안정성(asymptotic

stability)을 증명하였고 Verissimo등 [15]은 경로 추종 제어 및 점 안정(point stabilization) 문제를 풀기 위한 비선형 제어를 제안하였다. 본 논문에서는 구조로봇이 점자블록 인식을 수행하면서 주행할 때 로봇의 본체가 흔들리거나 점자블록위를 주행하는 경우에 레이저 거리 측정에 오차가 발생하므로 이러한 문제를 해결하기 위하여 위치추정을 위한 방법으로 go-stop-sensing-go 주행 방식을 사용하였고 이러한 경로추종 및 점안정문제(point stabilization problem)에 적합한 Verissimo등이 제안한 제어를 사용하였다.

IV. 모의실험

1. 점자블록 스캔매칭에 의한 MCL 알고리즘에 대한 모의실험

점자블록을 이용한 구조로봇의 위치추정 모의실험을 수행하였다.

이동로봇이 500mm 주행시마다 MCL 알고리즘의 예측과 갱신단계를 수행하였으며 최대 선속도는 1[m/s], 최대 각속도는 0.5[rad/s]으로 하였다.

그림 6은 로봇 동역학과 로봇의 오차모델을 적용하여 샘플수는 100개로 하였을 때 MCL 알고리즘으로 위치추정을 수행한 모의실험결과이다. 로봇의 위치는 삼각형으로 표시하였고 원은 MCL 알고리즘의 샘플을 나타낸다. 센서모델은 MCL 알고리즘의 일반적인 스캔 매칭방법을 사용하였다. 결과를 보면 로봇의 위치가 어느 한 점에 수렴하지 못하고 직경 200mm의 원 영역 내부로 수렴하는 것으로 보이지만 표준편차가 더 이상 줄어들지 않는다. 이러한 문제점은 점자블록의 단순한 형상에서 비롯되며 MCL 알고리즘에서 센서모델을 바탕으로 가중치를 계산하기 위해 수행하는 cross correlation 결과를 보면 샘플들이 수렴하지 못하는 이유를 알 수 있다.

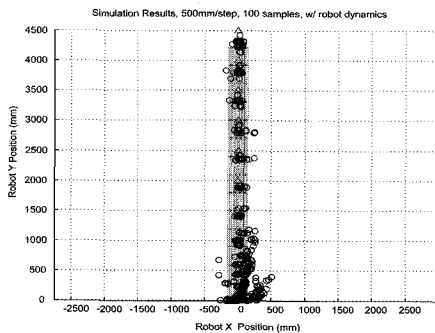


그림 6. 점자블록 추종 모의실험 결과.
Fig. 6. Braille block tracking simulation result.

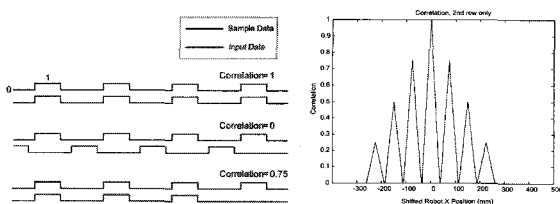


그림 7. 선형 점자블록 센서데이터의 상관관계.
Fig. 7. Some examples of line type braille block sensor data correlation.

점자블록을 인식한 센서 데이터를 블록한 부분은 1로 그렇지 않은 부분은 0으로 처리하는 과정을 거쳐서 그림 7의 왼쪽과 같은 형태로 할 수 있다. 이 데이터를 이용하여 MCL의 갱신과정에서 가중치를 구하기 위한 correlation을 계산한다. 가장 위쪽과 같이 기준이 되는 데이터와 입력된 데이터가 일치하면 correlation 값은 1이다. 그러나 입력된 데이터가 왼쪽 혹은 오른쪽으로 이동하면 두번째 그림과 같은 상황이 발생하여 correlation값은 0이 된다. 유도블록의 블록 튀어나온 부분의 폭은 35mm인 반면, 오목한 부분은 40mm이기 때문에 0이 나오는 경우가 생기는 것이다. 세 번째 그림과 같이 조금 더 왼쪽으로 이동한 센서 데이터가 들어와 블록한 부분 세 개가 일치한다면, correlation은 0.75가 된다. 이러한 과정을 반복하면 그림 7의 오른쪽과 같은 결과를 얻을 수 있다. MCL 알고리즘은 반복적으로 가중치가 큰 샘플 주위에 resampling과정을 통해 수렴해야 하는데 이와같은 센서모델은 위치추정 결과가 수렴하지 못하는 것을 모의실험으로부터 알 수 있다. 그러므로 스캔 매칭방법이 아닌 다른 방법으로 센서모델을 정하는 것이 필요하게 된다.

2. 개선된 Correlation 알고리즘

점자블록의 센서 데이터로부터 블록의 폭과 블록의 중심에서 벗어난 거리에 관한 정보를 구할 수 있으며 이를 이용하여 기존의 방식보다 샘플의 분산을 줄이고 보다 성능이 우수한 센서모델을 구할 수 있는 다음과 같은 개선된 correlation 방법을 고안하였다. 그림 8은 유도블록을 읽은 데이터를 나타낸다. 블록의 첫번째 블록한 부분의 시작부분의 위치와 마지막 부분의 위치를 폭으로 계산한다. 그림에서 블록한 부분이 총 4개이고, 블록한 부분의 폭이 240mm이다. 구한 폭의 중심부분을 블록의 중심으로 정한다. 중심의 위치는 스캔한 데이터의 200mm지점이다. 블록한 부분의 개수가 4개보다 적은 경우에도 같은 방법으로 블록의 폭과 중심을 구한다. 스캔 가능한 영역에서 블록이 완전히 벗어나 요철이 측정되지 않은 경우에는 폭과 중심을 모두 0으로 처리한다.

그림 9의 왼쪽은 로봇의 센서가 블록의 중심에서 벗어났지만 자세가 틀어지지 않은 경우를 나타낸다. 중심에서 왼쪽으로 벗어났다는 것은 중심값이 130mm인 것에서 파악할 수 있고, 자세가 틀어지지 않은 것은 폭이 240mm인 것에서 알 수 있다. 그림 9의 오른쪽은 로봇의 센서가 블록의 중심에서 벗어났고 로봇의 자세가 틀어진 경우를 나타낸다. 중심에서 왼쪽으로 벗어났다는 것은 중심 값이 175인 것에서 파악 할

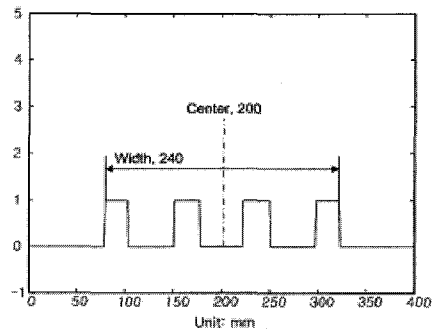


그림 8. Correlation을 위한 점자블록의 중심과 폭의 정의.
Fig. 8. Center and width point of a braille block for correlation.

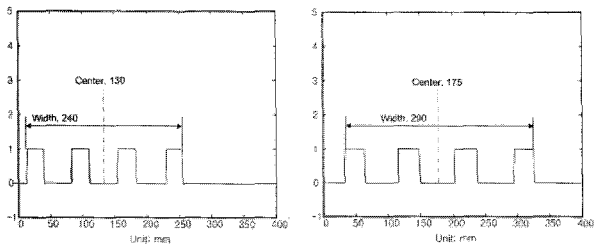


그림 9. 점자블록 센서데이터 - 거리 편차가 있는 경우와 거리 편차 및 회전이 있는 경우.
 Fig. 9. Center and width point of a braille block - Shifted case and shifted & rotated case.

수 있고, 자세가 틀어졌다는 것은 계산된 폭이 290mm인 것에서 알 수 있다.

위의 같이 센서데이터의 중심과 폭을 구하고 가상의 로봇의 위치를 나타내는 샘플의 위치에서 가상센서 데이터를 생성한 후 다음과 같은 방법으로 correlation을 구한다.

$$corr_{center} = (400 - |C_m - C_s|) / 400$$

$$corr_{width} = (400 - |W_m - W_s|) / 400$$

여기서, $corr_{center}$, $corr_{width}$ 는 각각 중심의 편차 및 폭의 편차를 나타내며 C_m, C_s 는 각각 센서데이터의 중심값 및 샘플의 중심값을 나타내며 W_m, W_s 는 센서데이터의 폭과 샘플의 폭을 나타낸다.

$corr_{center}$ 와 $corr_{width}$ 는 0에서 1사이의 값을 갖게 되고 다음과 같이 두 값을 곱하여 최종적인 correlation cpr 을 구하여 MCL 알고리즘에 적용한다.

$$corr = corr_{center} \times corr_{width}$$

V. 실험결과

점자블록을 감지하기 위하여 개발한 레이저센서 스캔장치의 성능을 검증하기 위한 실험을 수행하였고 구조로봇에 장착하여 자율주행 실험을 실시하였다.

1. 레이저 센서 장치 실험

개발된 레이저센서 스캔장치로 건물의 바닥면에 설치되어 있는 점자블록 단면까지의 거리를 측정하고 측정 데이터를 이용하여 로봇의 위치추정에 필요한 정보로 변환하기 위한 실험을 수행하였다. 레이저센서 스캔장치를 로봇에 장착하였으며 실험은 선 형태의 유도블록과 점 형태의 경고블록 두 가지를 측정하였다.

레이저센서 스캔장치를 이용하여 유도블록(line type block)의 단면을 측정된 결과는 그림 10의 왼쪽과 같다. 가로축은 센서장치가 측정하는 범위인 400mm 구간을 나타내며, 세로축은 센서측정값이다. 센서측정값에 점자블록표면의 이물질이나 블록표면의 난반사에 의해 잡음이 섞여있는 것을 볼 수 있으며 MCL 알고리즘에 사용하기 위하여 문턱값(threshold) 이상은 불록한 면으로 처리한 결과는 그림 10의 오른쪽과 같다.

레이저 센서 장치를 이용하여 경고블록(dot type block)의 단면을 측정된 결과는 그림 11과 같다. 유도블록의 경우와 같이 측정 결과물에 약간의 잡음이 섞여 있는 것을 볼 수 있

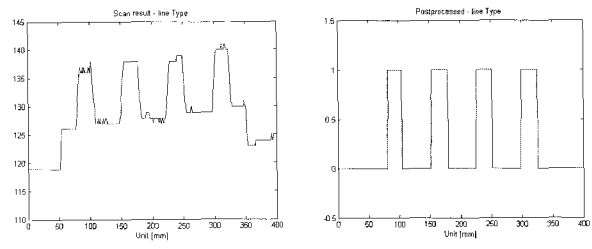


그림 10. 스캔장치 측정 결과 및 후처리된 센서 데이터: 선형 점자블록의 경우.
 Fig. 10. Scan result and post-processed sensor data: line type block.

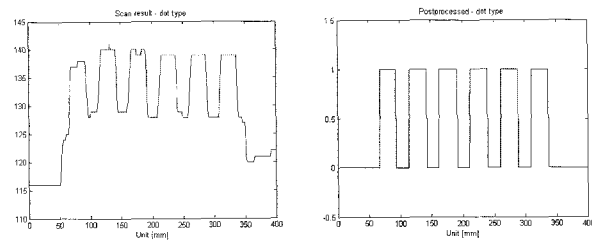


그림 11. 스캔장치 측정 결과 및 후처리된 센서 데이터: 점형 점자블록의 경우.
 Fig. 11. Scan result and post-processed sensor data: dot type block.

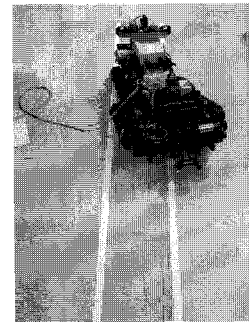


그림 12. 점자블록 추종을 위한 실험 환경.
 Fig. 12. Experimental environment setup for braille block tracking.

며 그림 11의 오른쪽은 경고 블록을 인식하기 위한 알고리즘에 사용하기 위하여 블록의 불록하게 튀어나온 부분을 1로 처리하고 다른 부분을 0으로 처리한 결과이다.

2. 구조로봇의 주행 실험

시각 장애인 안내용 점자블록 인식 및 주행을 위한 실험을 수행하기 위해 그림 12와 같은 실험 환경을 구성하였다. 그림 12의 점자블록은 실제 지하철 역사등에 설치되는 가로 300mm 세로 300mm의 규격품으로 4개의 불록한 선 형태로 구성되어 있는 유도블록이다. 로봇의 이동거리정보 및 MCL 알고리즘에 의한 위치추정을 실시간으로 수행하였고 이 정보를 이용하여 자율주행 실험을 수행하였다.

로봇은 go-stop-sensing-go 방식으로 주행하며 일정거리마다 주행 후 정지하여 레이저센서 스캔장치를 이용하여 점자블록의 단면을 측정 후 위치추정을 위한 MCL 알고리즘을 수행하고 다음 목표지점까지 경로추종 제어를 이용하여 주행한다. 로봇의 위치를 추정하기 위한 MCL 알고리즘에는 100개의 샘플을 사용하였다. 주행 실험에서 로봇의 초기자세

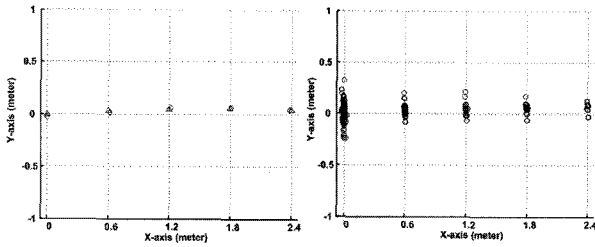


그림 13. 자율주행 실험 결과 및 샘플의 위치(△: 로봇의 실제 위치, ◊: MCL에 의해 추정된 위치).

Fig. 13. Autonomous navigation experiment result and sample position (△: true robot position, ◊: MCL based localization).

는 $(x_0, y_0, \theta_0) = [0, 0, 10^\circ]$ 와 같으며 목표자세는 $(x_f, y_f, \theta_f) = [2.4, 0, 0^\circ]$ 로 하였다. 그림 13의 오른쪽은 로봇의 이동에 따른 두 가지 위치를 표시한다. 그림에서 다이아몬드는 로봇의 실제 위치이며 삼각형은 MCL 알고리즘에 의하여 추정한 위치이다. 로봇은 0.6m마다 주행후 정지하여 위치추정 알고리즘을 수행하였으며 중간 분기점은 X축으로 0.6m, 1.2m, 1.8m, 2.4m가 된다. 정지시 위치추정을 수행한 후에 자세오차가 발생한 경우에는 다음 분기점까지는 거리측정계에 의한 데이터를 사용하여 경로추종제어를 하게 된다. 로봇의 초기 각도 오차가 10도였으므로 로봇이 주행하면서 경로추종제어기에 의해 Y축의 0지점을 벗어나다가 다시 Y축으로 수렴하는 것을 볼 수가 있다. 그림 13의 오른쪽은 로봇의 위치를 추정하기 위한 MCL 알고리즘의 샘플들을 나타낸 그림이다. 샘플들이 로봇이 주행함에 따라 스텝당 X축 방향으로 0.6m씩 이동하며 MCL 알고리즘의 예측 및 갱신 단계를 거치면서 샘플의 분산값이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 실험결과로부터 점자블록 인식에 의한 MCL 알고리즘을 이용한 위치추정이 가능하며 점자블록을 따라 구조로봇이 자율주행할 수 있음을 알 수 있다.

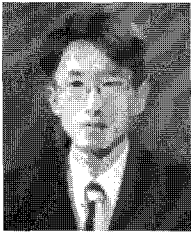
VI. 결론

화재현장등의 연기가 있는 환경에서는 로봇에 장착된 영상 및 거리센서의 성능이 제한되어 구조용 로봇이 임무를 수행하기가 어렵다. 농연의 상황에서도 건물이나 역사등의 공공장소에 설치된 장애인용 점자블록은 가까운 거리에서 측정하는 경우에 이러한 문제점을 해결할 수 있으며 측정 데이터들은 위치추정 및 경로추종을 위한 특징점으로 사용할 수 있다. 본 논문에서는 점자블록까지의 거리를 측정하여 인식할 수 있는 레이저센서 스캔장치를 개발하였고 이 장치를 KIST에서 개발된 구조용로봇에 장착하였다. 또한 점자블록 측정데이터에 MCL 알고리즘에 적용하여 로봇의 위치인식을 수행하였으며 점자블록 지도를 위상지도로 변환하여 비선형 추종제어기를 통한 자율주행 시스템을 개발하였다. 모의실험을 통하여 위치추정알고리즘 및 추종제어기의 성능을 확인

하였으며 실제 ROSCUE에 장착한 실험을 통하여 점자블록 인식 및 위치추정과 제어기의 추종성능 실험결과로부터 화재현장에서의 구조용 로봇 시스템의 활용 가능성을 검증하였다.

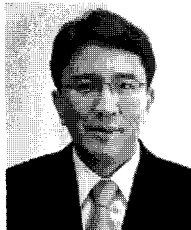
참고문헌

- [1] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, *Introduction to Autonomous Mobile Robot*, MIT Press, Cambridge, 2004.
- [2] A. Elfes, "Using occupancy grids for mobile robot perception and navigation," *Computer*, vol. 22, no. 6, pp. 46-57, 1989.
- [3] B. J. Kuipers and Y.-T. Byun, "A robot exploration and mapping strategy based on a semantic hierarchy of spatial representations," *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, vol. 8, pp. 47-63, 1991.
- [4] S. Thrun, J.-S. Gutmann, D. Fox, W. Burgard, and B. Kuipers, "Integrating topological and metric maps for mobile robot navigation: A statistical approach," *Proceedings of the AAAI Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence*, 1998.
- [5] J. Forsberg, U. Larsson, and A. Wernersson, "Mobile robot navigation using the rangeweighted Hough transform," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 2, pp. 18-26, March 1995.
- [6] F. Lu and E. Milios, "Robot pose estimation in unknown environments by matching 2D range scans," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 18, pp. 249-275, 1997.
- [7] G. Weiss and E. Puttkamer, "A map based on laser scans without geometric interpretation," *Proceedings of Intelligent Autonomous Systems*, vol. 4(IAS-4), pp. 403-407, 1995.
- [8] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "Markov localization for mobile robots in dynamic environments," *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 11, pp. 391-427, 1999.
- [9] F. Dellaert, D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "Monte carlo localization for mobile robots," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1322-1328, 1999.
- [10] S. C. Kang, W. S. Lee, M. S. Kim, and K. C. Shin, "ROBHAZ-Rescue: Rough-terrain negotiable teleoperated mobile robot for rescue mission," *IEEE Int. Safety, Security and Rescue Robotics Workshop*, pp. 110-115, 2005.
- [11] 한국산업규격(KS), "시각장애인용 점자블록(Braille blocks for the visually impaired)," 규격번호: KSF4561, 한국, 2002.
- [12] T. Yoshida, A. Ohya, and S. Yuta, "Braille block detection for autonomous mobile robot navigation," *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 633-638, 2000.
- [13] ZX-LD100, Omron Corp. datasheet, <http://www.omron.com/>
- [14] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 384-389, 1990.
- [15] A. Verissimo and E. M. Hemerly, "Kinematic control of the magellan-ISR mobile robot," *ABCN Symposium Series in Mechatronics*, vol. 1, pp. 48-57, 2004.



노치원

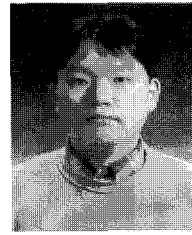
1995년 아주대학교 제어계측공학과 졸업. 1997년 동 대학원 제어공학과 졸업. 1997년~1999년 LG산전 플랜트 연구소 연구원. 2001년 아주대학교 대학원 전자공학과 박사과정수료. 2004년~2006년 KIST 지능로봇연구센터 위촉연구원. 관심분야는 최적/강인제어이론, 비선형제어, 자율주행로봇.



강성철

1989년 서울대학교 기계설계학과 졸업. 1991년 서울대학교 석사 졸업. 1998년 서울대학교 기계설계학과 박사 졸업. 1991년~1999년 KIST 휴먼로봇연구센터 연구원. 1999년~2000년 일본 기계기술연구소(MEL) 로봇연구부 박사후 연구원.

1999년~2005년 KIST 지능로봇연구센터 선임연구원. 2005년~현재 KIST 지능로봇연구센터 책임연구원. 관심분야는 지능형 dependable 매니플레이션, 위험작업용 필드 서비스로봇, Haptic, Tactile Interface, 소형 비행선 설계, 제어 및 응용.



이성하

1981년 11월 16일생. 2004년 서강대학교 기계공학과(공학사). 2006년 연세대학교 전기전자공학과(공학석사). 현재 현대자동차주식회사 파워트레인연구소 재직. 관심분야는 디젤엔진, 텔레메트리.

홍석교

제어·자동화·시스템공학 논문지 제 11 권 제 10 호 참조.