

---

# 인간행동제약을 위한 레이저파인더 기반의 로봇주행제어

진태석\*

Robot Navigation Control using Laserscanner to Restrict Human Movement

Tae-Seok Jin\*

---

이 논문은 2011년도 산학연공동기술개발사업(No.00045079)의 지원을 받아 수행된 연구결과임, 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구결과임(N. 2010-0021054)

---

## 요 약

본 논문에서는 실내 보안지역내의 인간 출입을 통제하기 위해 보안로봇을 이용한 출입통제 기능을 수행한 시스템 및 연구결과를 제시하고 있다. 제안된 로봇은 환경인식을 위한 레이저파인더를 탑재하고 보안지역을 상시 관찰을 수행하며 출입금지 구역에 인간을 출입이나 진행을 감지했을 때, 로봇이 인간의 속도벡터를 계산 및 주행할 경로를 계획하고 인간의 진행방향을 차단할 수 있도록 예측된 경로를 따라 주행을 하게 된다. 이때, 인간의 움직임은 포인더 물체로 간주하였으며 로봇의 기구학에 기반하여 인간의 위치를 추정한다. 실내에서 계속적인 환경변화에 대해 로봇은 감시기능 수행하게 된다. 통제구역에 대한 진입을 인식하게 되면 인간의 움직임의 반대방향으로 주행하여 진입차단 기법을 제시한다. 제안된 연구결과를 검증하기 위해 로봇을 이용한 위치추정 및 추적 실험결과를 제시하였다.

## ABSTRACT

In this research, we describe a security robot system and ongoing research results to control human's wrong direction in order to forbid human to enter security zone. Proposed robot system surveils a security area with equipped laserscanner sensor usually. When it detect walking human who is for the area, robot calculates his velocity vector, plans own path to forestall and interrupts him who want to head restricted area and starts to move along the estimated trajectory. The walking human is assumed to be a point-object and projected onto a scanning plane to form a geometrical constraint equation that provides position data of the human based on the kinematics of the mobile robot. While moving the robot continues these processes for adapting change of situation. After arriving at an opposite position human's walking direction, the robot advises him not to be headed more and change his course. The experimental results of estimating and tracking of the human in the wrong direction with the mobile robot are presented.

## 키워드

로봇주행, 레이저파인더, 환경인식, 추적, 기구학

## Key word

robot navigation, laserscanner, recognition, tracking, kinematics

---

\* 종신회원 : 동서대학교 메카트로닉스공학과(교신저자, jints@dongseo.ac.kr)

접수일자 : 2013. 01. 23

심사완료일자 : 2013. 02. 22

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.5.1070>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

오늘날 현대 생활에 있어 각종 보안 및 치안에 대한 불안감이 증가함으로 인하여 각종 감시 및 보안 장비들이 선보이고 있다. 그 중에서 감시 카메라, 경비 로봇 등 인간에 의하지 않고 안심 안전을 위한 시스템에 많은 관심이 쏠리고 있다. 이러한 시스템은 이상 검출 및 실내 감시 역할을 하고 경비원의 대체 업무를 달성하기 위한 경비 로봇의 연구는 널리 진행되고 있다 [1][2]. 경비로봇의 우선적인 기능으로 자율적인 주행기능과 환경인식 기능을 우선적으로 들 수 있으나, 산업 환경에서 자율 이동 로봇(Autonomous Mobile Robot), 자율 운반체(Autonomous Guided Vehicle)등이 도입된 이래로, 유연한 탐색 주행 시스템(Flexible Navigation System)을 위한 요구로 이동 로봇이 원하는 위치로 이동하기 위해서는 경로 계획(Path Planning), 환경 인식(Environments Recognition), 장애물 회피(Obstacle Avoidance) 그리고 위치 추정(Position Estimation)등의 기능이 더욱 많이 요구된다. 이 중에서 움직이는 물체에 대한 위치 추정은 다른 기능에 대하여 선행적으로 요구되나, 이에 대한 일반화된 해결책은 제시되지 않고 있다[3][4].

실내에서 로봇을 이용한 경비기능으로는 의심스러운 행동을 취하는 인물에 접근하고 주의를 촉구 같은 것이 있지만, 이러한 업무는 기존의 시스템에서는 대체 수 없다[5][6]. 따라서 본 연구에서는 경비 로봇에 주목하고 "이동성"이라는 장점을 보다 적극적으로 활용함으로써 로봇의 동작에 의한 주의환기, 인간의 행동 제어 기반의 로봇 시스템의 구축을 목적으로 한 인간 위치인식과 로봇의 위치제어의 연구결과를 제시하였다.

## II. 환경인식

### 2.1. 동작시나리오

본 연구의 적용 환경은 눈에 띄는 장애물은 없으며 바닥도 평평한 오피스 빌딩의 복도 및 현관 등을 설정하고 있다. 보통 사람의 통행이 잦은 입구와 엘리베이터를 연결하는 경로를 직선상에 있는 것으로 설정하였다. 이 상황에서 로봇은 사람의 움직임을 모니터링하고 표준적인 움직임에서 벗어난 인간을 발견하게 되면 그것을 수상한 움직임으로 간주하고 그 인간의 전면으로 이

동하여 사람의 진행을 막게 된다(그림 1). 인간의 움직임이 멈추고 다른 방향이나 되돌아가는 움직임을 인식했을 경우는 로봇은 최초의 위치로 이동하여 원래의 임무를 계속해서 모니터링하게 된다. 반대로 인간의 타방향진입에 대해 로봇이 차단했음에도 불구하고 진행을 멈추지 않는 것 같으면 진입차단과 같은 행동으로 강력한 대응을 할 수 있도록 하였다. 이러한 동작을 실현하는 것으로 인간행동에 대해 로봇동작으로 주의환기나 진입금지 구역에 대한 경비를 실시할 수 있다고 판단된다.

본 논문에서는 그림 1에서 제시한 것과 같이 인간의 행동에 대한 인지 및 인식 동작의 실험 패턴을 보여주고 있다.



그림 1. 출입통제 기능수행을 위한 시나리오  
Fig. 1 Scenario for human walking and robot behaviour

### 2.2. 인간의 움직임 계측

본 실험 시스템의 개요는 인간의 움직임에 대한 로봇의 인식과 이동에 관한 연구를 구현하기 위해 외부 센서로 레이저과인더 센서를 적용하였다. 따라서 레이저과인더 센서에서 얻어진 거리 데이터를 바탕으로 인간의 위치 및 속도를 계산할 필요가 있다. 그림 2는 레이저과인더센서의 측정 주기  $T$ 로 했을 때 인간의 측정거리 데이터를 시간  $t_k, t_{k+1}$ 로서 다음 식(1)과 같이 표시할 수 있다[7].

$$\begin{aligned} t_k &= T \times k \\ t_{k+1} &= T \times (k+1) \end{aligned} \quad (1)$$

본 연구에서는 그림 2에서와 같이 작은 동심원을 측정 거리점으로 했을 때 그 평균 위치에서 측정 거리점의 중심을 × 표시로 나타낼 수 있다. 또한 측정 거리점의 중심 위치를 인간의 위치로 간주하였다. 레이저파인더 센서에서는 레이저 빛과 인간이 만나는 한 쪽면 밖에 측정할 수 없기 때문에 인간의 중심 위치가 레이저파인더 센서 측에서 벗어나는 단점이지만 거리계산이 간단한 장점이 있다.

인간의 보행 속도는 그림 2에서와 같이 시간 변화에 따른 동심원의 중심 위치로 구할 수 있다. 정확한 인간의 속도를 요구하는 방법으로는 인간의 움직임을 모델링하여 확장 칼만 필터를 사용하여 속도를 추정하는 것 등 [2]도 있지만 본 연구에서는 중심 위치의 시간 변화를 2차 저역 통과 필터를 이용한 경과 값을 측정 대상 속도로 구할 수 있도록 하였다.

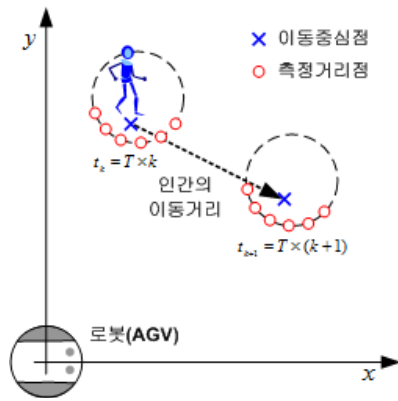


그림 2. 인간 움직임에 대한 위치인식  
Fig. 2 Position recognition for human movement

보행 인간의 위치를 거리 정보의 중심에서 구하기 위해서는 레이저파인더 센서의 거리 정보에서 인간의 거리 정보만을 뽑아 낼 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 인간을 이동물체로 간주하고 이동하는 물체의 거리 정보만을 얻어내어 인간과 환경의 식별할 수 있도록 했다. 거리 정보에서 이동물체와 정지물체를 식별하기 위해서는 복수시간에 대한 거리 정보의 차이를 이용한 방법 등 [8]이 많이 적용되고 있다. 하지만, 본 연구는 이동물체인 인간의 움직임에 실시간으로 대응하기 위해 센서를 탑재한 로봇이 고속으로 이동하면서 인간을 지속적으로 추적해야한다. 그리고 로

봇에 탑재된 센서 자신도 움직임으로 인하여 시간 차등을 이용한 방법으로 이동과 정지물체의 식별을 원활히 수행하는 것이 어렵다고 생각된다. 따라서 센서 정보를 클러스터로 분할하고 각각의 속도 벡터를 계산하여 이동과 정지 물체를 식별할 수 있도록 하였다.

첫 번째 단계로 레이저파인더 센서에서 얻은 거리 정보를 거리가 가까운 것끼리 하나의 클러스터로 분류한다. 클러스터는 거리 정보의 평균에서 그 중심 값을 찾아 클러스터의 위치로 설정한다. 그 때, 클러스터의 양쪽 측면의 거리가 일정치보다 긴 경우 후속 처리에서 제외시키도록 한다.

그런 다음 마지막 클러스터의 위치와 최신 클러스터의 위치를 비교하여 가장 가까운 위치에 있는 클러스터를 서로 비교 매칭 한다. 매칭된 위치의 변화량을 두 거리 정보를 받은 시간 간격으로 나누어 각 클러스터의 이동 속도를 산출한다. 계산된 이동 속도는 2차 저역 통과 필터를 사용하여 고주파는 제거하고 속도가 임계값 이상인 클러스터를 이동체로 인식하게 된다.

### 2.3. 로봇의 경로생성

인간의 진입금지 구역에 대한 로봇의 진로차단 동작을 할 때 요구되는 경로의 조건은 다음과 같이 2가지를 들 수 있다.

- ① 보행중인 인간 앞으로 이동할 때 로봇은 인간이 있는 방향을 향한다.
- ② 가능한 한 로봇의 이동 거리가 짧아야 한다.

보행 인간의 정면으로 이동했음 에도 불구하고 인간 방향으로 향하고 있지 않다고 하는 경고 대상이 모호하게 될 가능성이 있다. 또한 로봇의 이동 거리가 매우 긴 경우 보행중인 인간을 추적행동을 중단할 수 있는 경우가 발생할 수 있다 [10].

따라서 이러한 모호하고 추적에 따른 문제점을 해결하기 위해 그림 3과 같은 경로를 적용하였다. 이동로봇은 직선과 원호 위로 이동하고 인간의 방향을 향한 상태에서 인간의 정면 위치로 이동할 수 있도록 하였다. 이것은 경로가 갖추어야 할 2 가지 조건을 균형 있게 충족하게 되는 이동설정이 될 수 있다. 이러한 경로를 생성하려면 우선 인간의 보행 방향에 접하는 원을 놓고 다시 그 원에 접하는 로봇의 위치를 지나도록 직선을 연결한다. 또한 로봇이 목적지  $D$ 에 도달하는 시간과 인간의 이동 시간,  $T_m$ 이 일치하는 조건을 추가하여 진로차단을 위

한 이동 경로를 결정할 수 있다. 또한 그림 3에서 로봇의 이동 속도  $V_r$ , 인간의 이동 속도  $V_h$ , 인간의 앞으로 이동하는 시간 경과를  $T_e$  (로봇이 인간의 전면에서 이동했을 때 인간과 로봇의 거리는  $V_h \cdot t_e$ 로 표시), 원의 반지름을  $r$ 로 설정했다 [9][10].

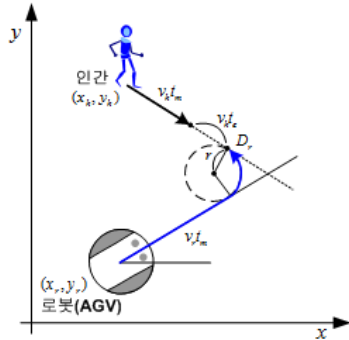


그림 3. 진입차단을 위한 로봇의 경로  
Fig. 3 Trajectory of robot for interrupting human

### III. 실험환경

인간보행에 대한 진로차단 동작 수행을 위한 로봇실험을 하기 위하여 실험 테스트용으로 적용한 이동 플랫폼으로 “AGV”를 제작하였고, 외부 센서로 HOKUYO의 레이저파인더센서 “UBG-04LX”를 탑재하여 감지할 수 있도록 하였다.

#### 3.1. 환경인식센서(레이저파인더-UBG-04LX)

UBG04-LX는 Hokuyo Automatic 사의 소형·고성능의 스캐너식 레이저 센서로서 거리를 측정하는 센서로서 장애물 회피 및 지도를 작성하는데 사용한다[5]. 소형·경량이면서 측정거리는 20mm에서 5600mm까지의 범위에서 정확한 측정이 가능하다. 동작범위로는 240°(-30°~210°) 이고 각 스텝마다(총 683스텝) 약 0.36°의 분해능을 갖고 있다. 또한 응답주기가 약 38Hz로 빠르며, 이동하면서 인간을 측정하는 데 적합한 측역센서 할 수 있다. 레이저파인더의 동작은 호스트에서 레이저파인더로 정해진 커맨드를 전송하면 이에 해당되는 패킷을 다시 호스트로 전송하는 방식으로 이루어진다. 측정 데이터를 얻기 위해서 레이저레이저파인더에서 MDMS라는 명령

메시지를 전송해야 하는데 이 명령메시지 안에는 레이저파인더의 스캔 시작 스텝과 끝 스텝 값을 포함하고 있어야한다. URG-04LX 정면을 90°로 보았을 때 데드존을 제외한 측정 가능한 범위는 스텝44(-30°)를 시작으로 스텝725(210°)까지 가능하다. 그림 4는 로봇에 적용된 레이저파인더의 외형을 보여주고 있다.



그림 4. 레이저파인더의 구조  
Fig. 4 Structure of Laserfinder

#### 3.2. 이동로봇(AGV)

AGV는 교육·연구용으로 개발된 바퀴에 의한 이동기구를 가지는 소형 로봇이다. 외부 센서로는 측역센서를 이용한 환경인식에 따른 주행이 가능하도록 설계 및 구현하였다. 인간의 걸음걸이 정도의 속도 대응이 가능하도록 최고 1.2m/sec의 속도로 주행이 가능하도록 제어하였다. 또한, 인간의 허리 위치의 높이를 레이저파인더 센서로 스캔하기 위해 AGV에 알루미늄 프레임으로 제작하고 그 위에 레이저파인더 센서를 장착하였다. 그림 5와 같이 레이저파인더의 사람인식을 위해 인간의 허리 위치 부근을 검색할 수 있도록 스캔 표면을 지면에서 높이 0.95m로 설정하였다.



그림 5. 레이저파인더의 레인지 범위  
Fig. 5 Measureable range of laserscanner

#### IV. 실험결과

로봇은 그림 3과 같은 실내공간에서 5×5 [m] 범위를 레이저파인더 센서 의해 감지할 수 있도록 환경을 설정하였다. 인간, 로봇 모두 정지 상태에서 실험을 시작하였으며 인간이 0.4m/sec 정도의 속도로 이동을 시작하여 로봇이 물체의 움직임으로부터 인간의 움직임으로 판단하고 이동로를 결정한 경우 그림 3과 같이 예상 이동 경로를 통해서 추적을 수행한다. 로봇이 인간의 정면까지 이동하면 로봇은 정지하고 진로차단 동작이 완료된다. 또한 본 실험에서 로봇의 추적가능한 원호의 반경은 0.3m로 설정하였으며 로봇의 속도는 직선 추종 시에는 0.4~1.0m/sec 정도의 속도로 주행하고, 원호형태의 추적 시는 0.3m/sec 정도의 속도로 주행하도록 하였다. 또한 속도 산출시 사용 저역 통과 필터는 식 (2)와 같은 매개 변수를 사용했다.

$$y = \frac{\omega_c^2}{s^2 + 2\xi\omega_c s + \omega_c^2} \times x \quad (2)$$

$$(\omega_c = 2\pi f_c, f_c = 0.25, \xi = 0.68)$$

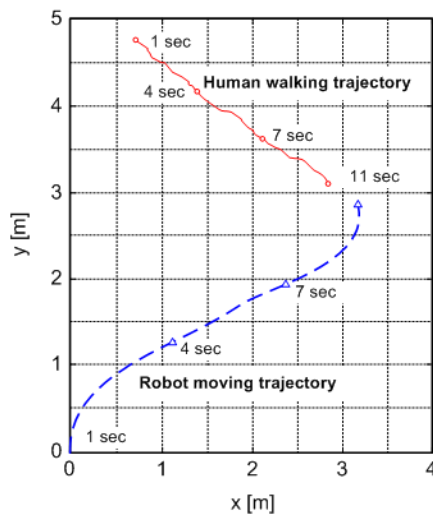


그림 6. 로봇과 인간의 시간에 따른 이동 궤적  
Fig. 6 Moving trajectory of human and robot

본 실험에서 계측된 인간의 이동 궤적 및 로봇의 오도메트리에서 얻은 로봇의 이동 궤적을 시간에 따른 위

치를 각각 그림 6에 나타내었다. 또한 인간의 진입에 따른 로봇이 진입차단을 수행하는 주행 실험에서 인간의 보행 속도에 대한 로봇의 주행속도 변화를 그림 7에 제시하였다. 그림 7에서 계측된 결과 데이터 분석으로 로봇 및 인간의 속도가 조금씩 진동으로 되어 있지만 로봇이 능숙하게 인간 정면 위치에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 0~7초 동안의 직선 주행 구간에서는 대체로 0.4~0.6m/sec 정도의 속도를 유지하였고 0~11초 동안의 곡선주행 구간에서는 0.3m/sec 속도로 주행했을 관찰할 수 있었다.

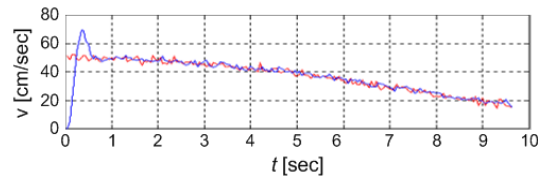


그림 7. 로봇의 실제속도와 예측속도  
Fig. 7 Real velocity and estimated velocity of robot

#### V. 결 론

본 논문에서는 이동 로봇의 동작에 의한 인간의 행동을 제약하기 위한 초기 연구단계로서 금지구역진입에 따른 로봇의 초기 차단을 수행할 수 있는 실험을 제시하였다. 우선 제안 연구에 대한 구현해야 할 로봇의 동작, 이동체의 위치와 속도의 산출 및 위치에 따른 경로 계산 등을 고려하여 로봇은 사람의 움직임을 모니터링하고 표준적인 움직임에서 벗어난 인간을 발견하게 되면 그것을 수상한 움직임으로 간주하여 인간이 움직이는 전면으로 이동하는 실험결과를 제시하였다. 향후 과제로는 로봇의 주행동작이 인간의 움직임 및 체스처에 따른 주행경로를 최적으로 생성할 수 있는 방법을 검토하고 실내환경에서의 조명에 대한 강인한 제어방법이 보완되어야 할 필요가 있다.

#### 참고문헌

[ 1 ] I. Nakutani, H. Saito, T. Kubot, et al., "Micro Scanning Laser Range Sensor for Palnetary Exploration", *Proc.*

*of Int. Conf. on Integrated Micro/Nanotechnology for Space Application*, 1995.

- [ 2 ] TaeSeokJin, JangMyung Lee, and Hideki Hashimoto, "Position Estimation of Mobile Robot using Images of Moving Target in Intelligent Space with Distributed Sensors" *Advanced Robotics*, The Robotics Society of Japan, Vol.20, No.6, pp.737-762, June 2006
- [ 3 ] O. C. Jenkins, G. G. Serrano, and M. M. Loper. *Recognizing Human Pose and Actions for Interactive Robots*, chapter 6, pages 119 - 38. I-Tech Education and Publishing, 2007.
- [ 4 ] Yilin. Zhao and Spencer L. BeMent, "Kinematics, Dynamics and Control of Wheeled Mobile Robots," *IEEE Conf. Robotics and Automation*, pp. 91~96, 5. 1992.
- [ 5 ] M. Dani Baba and E. T. Power, "Scheduling Performance in Distributed Real-Time Control System," *Proc. of 2nd International CAN Conference*, pp. 7/2~7/11, 1995.
- [ 6 ] Steven M. Lavalle, Rajeer Sharma, "On Motion Planning in Changing Partially Predictable Environments," *The International Journal of Robotics Research*, vol 16, No. 6, pp. 705-805, December, 1997.
- [ 7 ] Mark W. Spong, M. Vidyasagar, *Robot Dynmics and Control*, John Wiley & Sons, Inc. 1989.
- [ 8 ] R. van der Merwe, E. Wan, S. Julier, A. Bogdanov, G. Harvey, and J. Hunt. Sigma-point kalman filters for nonlinear estimation and sensor fusion: Applications to integrated navigation. In *AIAA Guidance Navigation & Control Conference*, 2004.
- [ 9 ] M. L. Walters, K. Dautenhahn, K. L. Koay, C. Kaouri, R. te Boekhorst, C. Nehaniv, I. Werry, and D. Lee. Close encounters: Spatial distances between people and a robot of mechanistic appearance. In *Proceedings of 2005 5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pages 450 - 55, Tsukuba, Japan, December 2005.
- [10] TaeSeok Jin, "Kinematics Method of Camera System for Tracking of a Moving Object" *International Journal of KIMICS*, Vol.8, No.2, pp.145-149, April 2010.

저자소개

진태석(Tae-Seok Jin)

한국정보통신학회논문지  
제11권 제11호 참조