

행동차단을 위한 이동로봇의 추적경로 생성

Tracking Path Generation of Mobile Robot for Interrupting Human Behavior

진태석
Taeseok Jin

동서대학교 메카트로닉스공학과
Dept. of Mechatronics Engineering, Dongseo University

요 약

본 논문은 실내외 공간에서 인간을 포함한 이동물체의 위치를 인식하고 출입금지 구역으로의 이동에 대해서 보안목적의 이동로봇이 센서를 이용하여 이동물체 및 인간의 행동 움직임을 인식하고 진입을 제한하는 주행기법을 제시하고 있다. 제시한 방법은 로봇자체의 DR센서 정보와 레이저스캐너에서 얻은 환경정보로부터 로봇의 위치추정방법을 결합 한 것이다. 이동로봇은 인간의 속도벡터를 계산 및 주행할 경로를 계획하고 인간의 진행방향을 차단할 수 있도록 예측된 경로를 따라 주행을 하게 된다. 이때, 인간의 움직임은 포인터 물체로 간주하였으며 로봇의 기구학에 기반하여 인간의 위치를 추정하는 기본 방법을 제시하고 그 타당성을 검증하기위해 로봇을 이용한 위치추정 및 추적 실험결과를 제시하였다.

키워드 : 이동로봇, 물체인식, 행동추적, 레이저스캐너, 위치추정

Abstract

In this paper, we describe a security robot system to control human's behavior in the security area. In order to achieve these goals, we present a method for representing, tracking and human blocking by laserscanner systems in security area, with application to pedestrian tracking in a crowd. When it detects walking human who is for the security 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. 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.

Key Words : Mobile robot, Recognition, Human-Tracking, Laserscanner, Estimation

1. 서 론

현대 생활에 있어 각종 보안 및 치안 지역내에서의 안전 불안감이 증가함으로 인하여 각종 감시 및 보안 장비들이 선보이고 있다. 그 중에서 경비로봇으로 대체한 인간의 의 심행동을 사전에 방지하는 연구가 이뤄지고 있다. 이러한 시스템 구현을 위한 로봇의 기능으로 무엇보다 자율적인 인지 및 인식과 주행의 기능이다[1].

이동로봇이 자율적인 행동을 하기 위해서는 환경인식, 경

로 계획 및 주행제어, 그리고, 위치 인식 및 보정 등의 기본적인 능력을 갖추어야 한다[1]. 특히, 원활한 작업 수행을 위하여 임의의 경로로 자율적으로 이동하는 이동로봇의 경우에는 로봇 자신의 현재 위치를 추정하는 기능이 필수적으로 요구된다. 로봇이 자신의 위치를 추정하기 위한 방법으로는 로봇의 이동 바퀴에 회전수를 측정할 수 있는 엔코더를 장착하여 초기 위치로부터 이동거리를 더해 나감으로써 자신의 위치를 추정하거나 가속도 센서와 자이로 센서 등의 가속도 정보를 2차 적분하여 초기 위치로부터 변화된 자신의 위치를 알아내는 방법 등이 사용되어 왔다. 그러나 이러한 방법들은 그 방법이 단순하고 손쉽게 구현이 가능함에도 불구하고 결정적으로 오차를 누적시키기 때문에 장시간 주행 시 누적오차가 발생되어 위치 추정에 심각한 오류를 유발하게 된다. 이러한 누적된 오차를 보정할 수 있는 방법으로 많이 활용되는 것이 랜드마크(landmark)를 사용하는 것이다. 전파, 초음파 등을 발사하여 이것을 기준으로 로봇이 자신의 위치를 추정하는 방법이 있고, 일정한 패턴이나 도형 등을 이용하는 방법이 있다. 혹은 자연적으로 존재하는 건물의 벽, 모서리 등과 같은 특징 점을 추출하여 로봇의 위치 추정을 위한 표식 점으로 이용하는 방법이 있다 [2][3][4].

접수일자: 2013년 3월 13일

심사(수정)일자: 2013년 4월 7일

게재확정일자 : 2013년 5월 8일

† Corresponding author

감사의 글 : 본 연구는 2013년도 동서대학교 학술연구조성비 및 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원으로 수행된 기초연구결과사업(N. 2010-0021054)

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.

위치추정에 사용되는 센서는 크게 거리센서와 비전센서로 나눌 수 있다. 거리센서에 기반한 대표적인 위치추정 방법은 칼만필터(Kalman filter; KF)를 이용한 방법[1]과 마코프 위치추정(Markov localization) [2] 그리고 몬테카를로 위치추정(Monte Carlo localization; MCL) [3] 등이 있다. 하지만 거리센서에 기반한 위치추정은 동적 장애물이나 책상처럼 감지하기 어려운 물체가 환경에 많을수록 오차가 커지고, 단순한 환경인 복도 같은 곳에서도 위치추정이 어렵다. 또한, 사용하는 거리센서도 많은 경우에 고가의 레이저스캐너 센서를 사용하기 때문에 실용화하기 힘든 단점도 있다.

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 경비로봇의 동작에 의한 주의환기, 인간의 행동 제어 기반의 로봇 시스템의 구축을 목적으로 한 인간 위치인식과 로봇의 위치제어의 연구결과를 제시하였다. 이러한 레이저스캐너 센서를 장착한 경비로봇을 이용한 환경인식에 대해 획득할 수 있는 정보량도 많기 때문에 전역기반의 위치인식을 위해서 레이저스캐너 센서에 기반한 위치추정에 대한 연구가 많이 진행 중이다.

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. 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.

본 논문의 2 장에서는 이동로봇의 위치추정을 위한 행동모델링을 다루고 있으며, 3 장에서는 인간의 움직임을 예측하여 차단하기 위한 칼만 필터에 의한 로봇위치 추정기법을 설명한다. 그리고 4, 5장에서 실험 및 결과를 통해 제안한 방법의 타당성을 검증하고, 6장에서 결론 및 향후과제를 기술한다.

2. 환경인식을 위한 행동모델링

2.1 움직임 예측

본 연구의 개요는 인간의 움직임에 대한 로봇의 인식과 이동에 관한 연구를 구현하기 위해 외부 센서로 레이저파인더 센서를 적용하였다. 따라서 레이저파인더 센서에서 얻어진 거리 데이터를 바탕으로 이동체의 위치 및 속도를 계산 할 필요가 있다. 그림 1은 레이저파인더센서의 측정 주기 T 로 했을 때 인간의 측정거리 데이터를 시간 t_k, t_{k+1} 로써 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 1에서와 같이 작은 동심원을 측정거리점으로 했을 때 그 평균 위치에서 측정거리점의 중심을 \times 표시하였다. 측정거리점의 중심 위치를 인간의 위치로 간주하였다. 인간의 보행 속도는 그림 1에서와 같이 시간 변화에 따른 동심원의 중심 위치로 구할 수 있다. 정확한 인간의 속도를 요구하는 방법으로는 인간의 움직임을 모델링하여 확장 칼만 필터를 사용하여 속도를 추정하는 것도 [2]도 있지만 본 연구에서는 중심 위치의 시간 변화를 2차 저역 통과 필터를 이용한 경과 값을 측정 대상 속도로 구할 수 있도록 하였다.

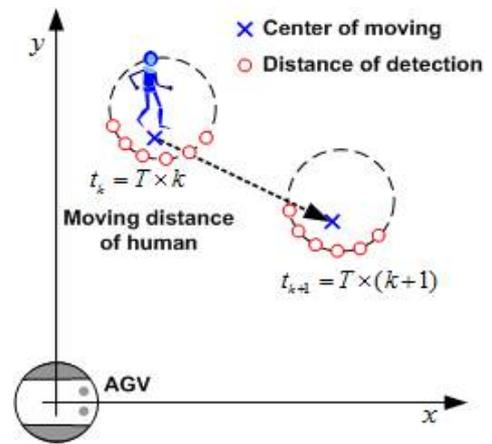


그림 1. 인간 움직임에 대한 위치인식
Fig. 1. Position recognition for human behavior

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 추적해야 한다. 따라서 센서 정보를 클러스터로 분할하고 각각의 속도 벡터를 계산하여 이동과 정지 물체를 식별할 수 있도록 하였다.

2.2 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 이동거리가 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.

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 균형있게 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 위한 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 정면에 이동했을 때 인간과 로봇의 거리는 $V_h \cdot t_e$ 로 표시), 원의 반지름을 r 로 설정했다.

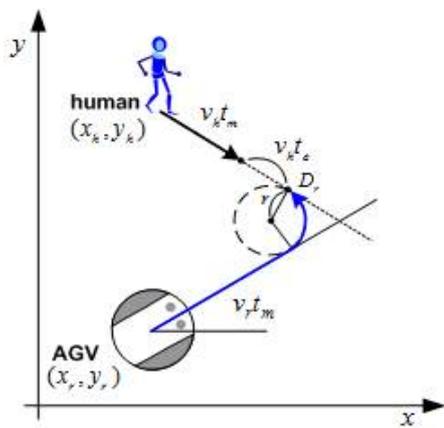


그림 2 진입차단을 위한 로봇의 경로
Fig. 2. Robot trajectory for blocking human

3. 이동물체의 궤적예측

본 절에서는 능동카메라의 이동물체 추적을 위한 이동물체의 운동을 분석 및 모델화하여 운동성분을 추정하여 물체의 거동 및 궤적을 예측하는 내용에 대하여 다루었다. 본 연구에서는 이동물체의 운동모델로부터 칼만필터를 사용하여 이동물체의 상태를 추정하였으며 이로부터 최소제곱 추정법(LSE: Least-Squares Estimator)을 사용하여 이동물체의 선형속도와 회전각속도를 추정하여 물체의 궤적을 예측하는 방법을 사용하였다[10][11].

3.1 이동물체의 운동모델

직교좌표 공간상에서 운동하는 일반적인 물체에 대하여 각 방향의 속도 및 가속도를 추정할 수 있으면 δt 이후의 공간상에서 예측되는 물체의 X,Y,Z 각 방향의 위치는 식 (2)~(4)와 같다[9].

$$\hat{P}_{x+\delta t} = \hat{P}_x + \hat{V}_x \delta t + \frac{1}{2} \hat{A}_x \delta t^2 \quad (2)$$

$$\hat{P}_{y+\delta t} = \hat{P}_y + \hat{V}_y \delta t + \frac{1}{2} \hat{A}_y \delta t^2 \quad (3)$$

$$\hat{P}_{z+\delta t} = \hat{P}_z + \hat{V}_z \delta t + \frac{1}{2} \hat{A}_z \delta t^2 \quad (4)$$

xy-평면상에서 이동하는 물체의 움직임은 진행속도 성분 v_k 과 각속도 성분 w_k 로 분해하여 식 (5)~(6)의 이산형 시변 방정식으로 나타낼 수 있다[9]. 이동물체의 운동을 일으키는 v_k 와 w_k 의 변화는 식 (8)과 같이 랜덤한 운동으로 정의한다. 여기서 ξ_v, ξ_w 는 가우시안 랜덤변수이다.

$$\delta x_{k+\delta t, k} = v_k \cos(\theta_k) \delta t - \frac{1}{2} \omega_k v_k \sin(\theta_k) \delta t^2 \quad (5)$$

$$\delta y_{k+\delta t, k} = v_k \sin(\theta_k) \delta t + \frac{1}{2} \omega_k v_k \cos(\theta_k) \delta t^2 \quad (6)$$

$$\delta \theta_{k+\delta t, k} = \omega_k \delta t \quad (7)$$

$$\delta v_{k+\delta t, k} = \xi_v, \quad \delta \omega_{k+\delta t, k} = \xi_\omega \quad (8)$$

이동물체의 모델을 칼만필터에 적용하기 위해서는 식 (9)의 이산시간 상태전이 모델이 필요하다. 이동물체의 이산형 시변 방정식으로 부터 이동물체 상태 전이 모델과 관측 모델을 얻는다. 여기서 z 는 측정벡터, H 는 상태벡터와 측정벡터사이의 관측행렬이며 w 는 상태전이 자체의 불규칙 성분이며 v 는 측정잡음, T 는 샘플링 시간을 의미한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_k &= \Phi_{k,k-1} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \\ \mathbf{z}_k &= \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \end{aligned} \quad (9)$$

3.2 칼만필터에 의한 이동물체의 상태추정

입력정보, 즉 영상정보는 처리과정 가운데 불확실성 및 잡음을 포함하고 있으며 상태전이 자체도 불규칙한 성분이 존재하므로 이에 대해 강인하게 상태를 추정하는 관측기로는 칼만필터가 적합하다. 칼만필터는 추정값과 측정값의 오차에 필터이득을 곱하여 상태전이 모델에 수정함으로써 추정오차를 최소화하는 처리과정이다. 이동물체의 상태추정 문제에서 칼만필터의 측정벡터는 이미지에서 구한 이동물체의 X,Y 평면공간상 위치이며, 이로부터 상태변수로 설정한 이동물체의 x,y 위치, 방향, 진행방향 속도, 회전각속도를 추정한다[13].

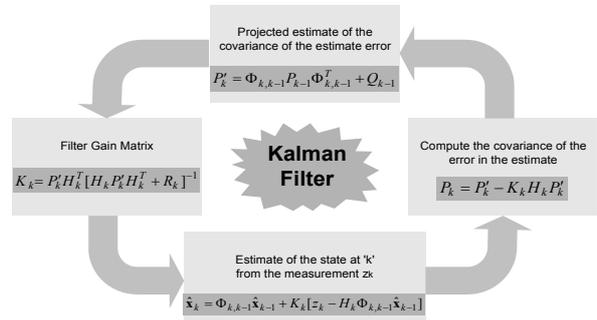


그림 3. 칼만필터 처리과정
Fig. 3. Kalman filter processing

그림 3은 칼만필터의 처리과정을 나타낸 것이다. 필터이득을 구하기 위하여 추정오차의 공분산 행렬이 필요하며 이는 식 (10)으로 이전과정의 공분산행렬의 상태천이에 시스템잡음의 공분산 행렬 Q_{k-1} 이 부가된 형태로 추정된다.

$$P'_k = \Phi_{k,k-1} P_{k-1} \Phi_{k,k-1}^T + Q_{k-1} \quad (10)$$

추정오차의 공분산 행렬 P'_k 와 관측 행렬 H_k , 측정잡음의 공분산 행렬 R_k 로 추정오차를 최소화하는 최적의 필터이득을 구하며 이는 식 (11)의 형태이다.

$$K_k = P'_k H_k^T [H_k P'_k H_k^T + R_k]^{-1} \quad (11)$$

다음은 상태를 추정하는 과정으로 식 (12)와 같이 추정벡터의 상태천이 모델에 이전단계의 추정벡터와 측정벡터 z_k 간의 오차에 필터이득을 곱한 innovation항이 부가되어 최적의 상태를 추정한다.

$$\hat{x}_k = \Phi_{k,k-1} \hat{x}_{k-1} + K_k [z_k - H_k \Phi_{k,k-1} \hat{x}_{k-1}] \quad (12)$$

최종적으로 식 (13)의 추정오차의 공분산 행렬을 수정하는 과정을 거치고 다시 식 (10)의 과정으로 순환한다.

$$P_k = P'_k - K_k H_k P'_k \quad (13)$$

4. 환경설정

4.1 CAN기반 분산 제어시스템

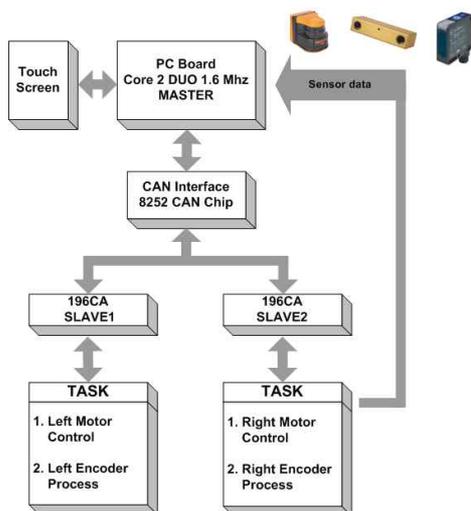


그림 4. 이동로봇의 제어기 구성
Fig. 4. Controller structure of mobile robot

실험에 적용한 이동로봇에서는 센서 인터페이스와 각 관절의 자세 및 속도의 제어 그리고 동작계획에 대한 작업들을 독립된 제어기에서 수행시키고 이들의 통합을

CAN(Controller Area Network)을 이용하여 네트워크로 구성함으로써 실시간 분산제어가 가능하도록 구성하였다.

로봇을 제어하기 위한 제어기 구조는 그림 4와 같이 블록선도로 나타내었다. Core 2DUO급 PC기반 보드를 탑재하고 Laser Scanner를 위한 Frame Grabber와 프로세서 인터페이스를 위한 P-ISA Back-Plane Board를 장착하였다. 또한, 모터와 센서를 제어하기 위한 별도의 마이크로프로세서를 사용하고, 프로세서간의 통신은 CAN bus를 사용하여 통신한다. 2개의 Sub-processor는 CAN Controller가 내장된 Intel의 80C196CA를 사용하여 구성하고, CAN Bus를 확장하기 위해 PC Board의 ISA Card에는 Philips의 82527을 사용하여 CAN 통신이 가능하게 한다. CAN을 사용하면 부가적인 모듈을 추가하기 쉬우며, 최대 10Mbps로 data가 전송될 수 있도록 구성하였다.

4.2 환경인식센서

UBG04-LX는 그림 5에서 제시한 것과 같이 Hokuyo Automatic 사의 소형·고성능의 스캐너식 레인지 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 커맨트를 전송하면 이에 해당되는 패킷을 다시 호스트로 전송하는 방식으로 이루어진다. 측정 데이터를 얻기 위해서 레이저레인지파인더에서 MDMS라는 명령메세지를 전송해야 하는데 이 명령메세지 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 5. 환경인식용 레이저파인더의 외형
Fig. 5. Laserscanner for environment recognition

구동부에 2개의 DC모터를 가지고 있으며, 이동에 대한 정보를 엔코더 데이터로부터 얻는다. 센서부를 살펴보면 6개의 초음파센서(Ultrasonic Sensor)와 전방의 CCD카메라 및 레이저스캐너 센서를 아래의 그림 6과 같이 로봇의 윗부분에 장착하였으며 데이터간의 간섭을 최소화 하기위해서 서로 대비되는 형태로 센서를 동작시켰다. 본 연구에서

는 초음파센서 및 CCD카메라를 사용하지 않고 레이저스캐너 센서만을 이용한 위치 추정 실험을 수행하였다.



그림 6. 이동로봇의 전체외형
Fig. 6. Mobile robot for experiment

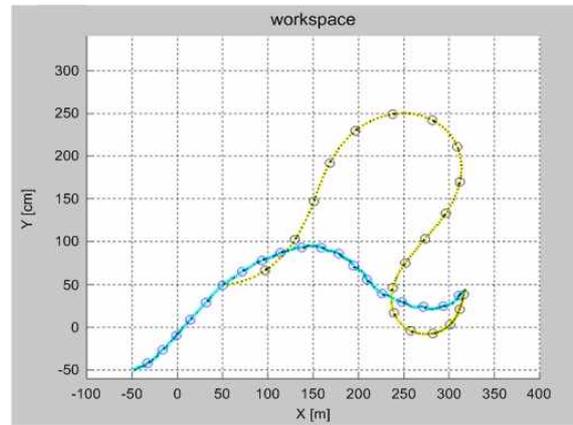


그림 7. 인간과 로봇의 이동 궤적
Fig. 7 Trajectory of human and robot

5. 실험

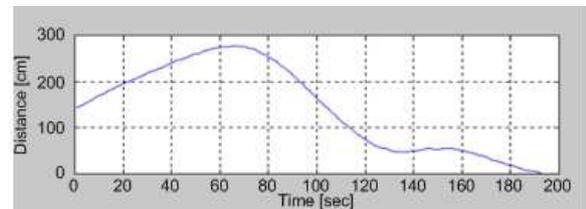
본 실험에서는 보안지역 내에서 출입금지 구역에 대한 출입을 감지 및 제한하기 위한 경비로봇이 주행하면서 위치 추정을 위한 방법으로 보행자의 움직임을 이용한 위치추정 방법을 제시하였다.

레이저스캐너 센서를 이용하여 로봇의 위치 추정 불확실성을 정량적으로 나타내었으며, 좌표계 변환을 통한 센서기반의 기하학적 구속식(geometric constraint equation)과 칼만 필터를 적용하여 로봇의 위치를 보정할 수 있음을 보였다.

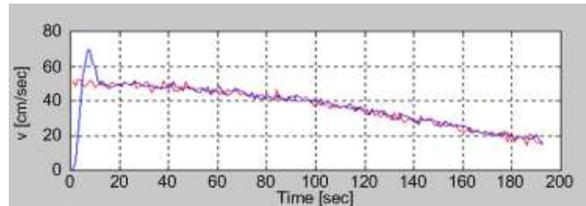
제시한 방법을 검증하기 위한 방법으로 먼저 일정한 경로로 움직이는 인간의 움직임을 레이저스캐너 센서로 인식하고 위치 및 이동방향을 속도와 이동벡터를 기반으로 현재 로봇의 추정 위치 사이에 생기는 구속 식을 유도하였다. 보행자의 이동좌표는 처리과정에 잡음을 포함하고 있으므로 경비로봇의 위치 추정 자체에도 불확실한 성분이 존재하므로 이에 대해 강인하게 상태를 추정하는 칼만 필터를 사용하였다. 제시한 방법은 실험을 통하여 보행자의 곡선 이동 경로에 대한 로봇의 위치추정에 대한 타당성을 검증할 수 있었다.

실험환경구성으로 경비로봇은 그림 1과 같은 움직임을 5×5 [m] 범위 평면 공간에서 레이저파인더 센서 의해 센싱할 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 이동을 결정할 경우 그림 2과 같이 예상 이동 경로를 통해서 추적에 대한 실제속도와 예측속도 데이터를 그림 7과 그림 8로 제시하였다.

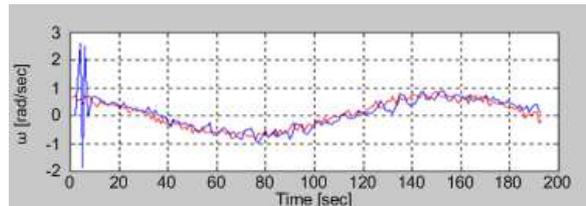
그림 7은 물체와 로봇의 궤적을 나타낸 것으로 시간에 대한 정보도 같이 나타내기 위해 10샘플 데이터마다 색인을 표시하였다. 결과에서 약 190샘플 시간 후에 로봇이 물체를 포획했음을 알 수 있다. 그림 7의 추정한 상태벡터를 나타낸 것으로서, (a)는 인간과 로봇간의 거리, (b)는 로봇의 실제 속도와 예측속도, (c)는 로봇의 실제 각속도와 예측 각속도를 각각 나타낸 것이다. 실험결과에서 그림 8과 동일하게 처음에는 큰 오차가 발생하고 이후로는 오차가 수렴됨을 알 수 있다.



(a) 인간과 로봇간의 거리



(b) 로봇의 실제 속도와 예측속도



(c) 로봇의 실제 각속도와 예측 각속도

그림 8. 로봇의 거리와 예측상태

Fig. 8 Distance and estiamted state

6. 결론

본 논문에서는 보안지역 내에서 인간의 출입을 제한하기 위한 방법으로 경비용 이동로봇의 동작에 의한 인간의 행동을 제약하기 위한 초기 연구단계로서 금지구역진입에 따른 로봇의 초기 차단을 수행할 수 있는 실험결과를 통한 제안알고리즘의 유효성을 검증하였다. 구체적인 실험으로써 경비로봇이 이동하는 인간을 추적하고 차단하기 위한 방법을 다루었으며 실험을 통하여 그 유효성을 검증하였다. 제시한 방법은 크게 다음으로 구분된다.

1. 레이저스캐너 기반 인간에 대한 거리 및 방향벡터 관계를 고려한 인간의 위치 추정 알고리즘 적용
 2. 이동 인간의 운동을 칼만필터를 이용한 상태추정과 이후의 움직임을 예측하는 방법
 3. 예측된 궤적에서 최단 시간내에 인간의 움직임을 차단하기 위한 로봇 동작계획에 대한 방법
- 향후 추가적인 연구과제로는 실제 로봇에 적용했을 때의 발생하는 실시간 이미지처리 및 구현문제, 고속의 운동에서 발생하는 동역학적인 문제에 대한 연구, 그리고 다중센서 기반의 다중물체 인식 및 로봇상태의 불확실성에 대한 강인성 문제에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다.

References

- [1] S. I. Roumeliotis, G. A. Bekey, "Bayesian estimation and Kalman filtering: a unified framework for mobile robot localization," *Robotics and Automation, Proc. ICRA. IEEE International Conference on*, vol. 3, pp. 2985-2992, April 2000.
- [2] B. Jung and G. S. Sukhatme, "Tracking targets using multiple robots: The effect of environment occlusion," *Autonomous Robots*, vol. 13, no. 3, pp. 191-205, 2002.
- [3] M. Mazo, A. Speranzon, K. Johansson, and X. Hu, "Multi-robot tracking of a moving object using directional sensors," in *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, New Orleans, LA, April 2004, pp. 1103-1108.
- [4] A. Georgiev and P. K. Allen, "Localization methods for a mobile robot in urban environments," *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 20, no. 5, pp. 851 - 864, October 2004.
- [5] A. I. Mourikis and S. I. Roumeliotis, "Performance bounds for cooperative simultaneous localization and mapping (C-SLAM)," in *Proc. of Robotics: Science and Systems*, Cambridge, MA, pp. 73 - 80, June 2005.
- [6] I. Nakutani, H. Saito, T. Kubot, et al., "Micro Scanning Laser Range Sensor for Planetary Exploration", *Proc. of Int. Conf. on Integrated Micro/Nanotechnology for Space Application*, 1995.
- [7] 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
- [8] O. C. Jenkins, G. G. Serrano, and M. M. Loper. *Recognizing Human Pose and Actions for Interactive Robots*, chapter 6, pp. 119 - 38. I-Tech Education and Publishing, 2007.
- [9] Yilin. Zhao and Spencer L. BeMent, "Kinematics, Dynamics and Control of Wheeled Mobile Robots," *IEEE Conf. Robotics and Automation*, pp. 91-96, vol. 5. 1992.
- [10] Steven M. Lavalle, Rajeer Sharma, "On Motion Planning in Changing Partially Predictable Environments," *The International Journal of Robotics Research*, pp. 705-805, vol 16, No. 6, December, 1997.
- [11] 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.
- [12] 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*, pp. 450 - 55, Tsukuba, Japan, December 2005.

저 자 소 개



진태석 (Jin TaeSeok)

2003년 : 부산대학교 전자공학과 졸업
(공학박사)

2004년~2005년 : 동경대학 하시모토연구
실 및 생산기술연구소 연구원

2006년~현재 : 동서대학교 메카트로닉스
공학과 부교수

관심분야 : 지능시스템/로보틱스/센서융합/

Phone : +82-51-320-1541

Fax : +82-51-320-1751

E-mail : jints@dongseo.ac.kr