

노약자의 낙상가능지역 진입방지를 위한 보안로봇의 주행경로제어

Navigation Trajectory Control of Security Robots to Restrict Access to Potential Falling Accident Areas for the Elderly

진 태 석*
(Taeseok Jin^{1,*})

¹Dept. of Mechatronics Engineering, Dongseo University

Abstract: One of the goals in the field of mobile robotics is the development of personal service robots for the elderly which behave in populated environments. In this paper, we describe a security robot system and ongoing research results that minimize the risk of the elderly and the infirm to access an area to enter restricted areas with high potential for falls, such as stairs, steps, and wet floors. The proposed robot system surveys a potential falling area with an equipped laser scanner sensor. When it detects walking in elderly or infirm patients who in restricted areas, the robot calculates the velocity vector, plans its own path to forestall the patient in order to prevent them from heading to the 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 in order to adapt to the changing situation. After arriving at an opposite position to the human's walking direction, the robot advises them to change course. The simulation and experimental results of estimating and tracking of the human in the wrong direction with the mobile robot are presented.

Keywords: robot navigation, motion planing, trajectory, human behavior, falling accident

I. 서론

오늘날 현대 생활에 있어 각종 계단 및 사각지대 등의 낙상가능 지역에서 노인들의 낙상에 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, 병원 및 공항 같은 공공환경에서 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 대

한 일반화된 해결책은 제시되지 않고 있다[3,4,12].

실내에서 로봇을 이용한 경비기능으로는 낙상가능지역으로의 진입 행동을 취하는 노약자에게 접근하고 주의환기와 같은 액션은 수행 가능하지만, 이러한 로봇의 서비스는 기존의 시스템에서는 찾아보기 힘든 작업이다[5,6,14]. 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.

논문의 구성으로는 I 장에는 서론, II 장에서는 위험차단 패턴 시나리오를 위한 환경인식 모델링, III 장에서는 낙상가능 지역 진입차단을 위한 보안로봇의 동작계획을 제시하고 IV 장과 V 장에서는 제시한 이론에 근거한 실험결과 및 결론으로 구성하였다.

II. 환경인식 모델링

1. 동작시나리오

본 연구의 적용 환경은 눈에 띄는 장애물은 없으며 바닥도 평평한 병원 빌딩의 복도 및 현관 등을 설정하고 있다. 보통 노약자들의 통행이 잦은 화장실과 계단을 연결하는 경로를 낙상 가능한 지역으로 설정하였다. 이 상황에서 로봇은 사람의 움직임을 모니터링하고 표준적인 움직임에서 벗어난 인간을 발견하게 되면 그것을 수상한 움직임으로 간주하고 그 인간의 전면으로 이동하여 진입이나 진행을

* Corresponding Author

Manuscript received February 15, 2015 / revised March 10, 2015 / accepted March 15, 2015

진태석: 동서대학교 메카트로닉스공학과(jints@dongseo.ac.kr)

※ 이 논문은 2014년도 동서대학교 “Dongseo Frontier Project” 지원에 의하여 이루어진 것임.



그림 1. 낙상가능지역 진입차단 수행을 위한 시나리오.
Fig. 1. Scenario for human walking and robot behaviour.

차단하게 된다(그림 1). 인간의 움직임이 멈추고 다른 방향이나 되돌아가는 움직임을 인식했을 경우는 로봇은 최초의 위치로 이동하여 원래의 임무를 계속해서 모니터링하게 된다. 반대로 인간의 타 방향진입에 대해 로봇이 차단했음에도 불구하고 진행을 멈추지 않는 것 같으면 진입차단과 같은 행동으로 강력한 대응을 할 수 있다. 이러한 동작 수행은 인간행동에 대해 주의환기나 진입 금지구역에 대한 경고 및 진입차단과 같은 로봇동작으로 구현하고자 하였다.

본 논문에서 실시한 시나리오는 그림 1과 같이 위험차단 패턴예시를 제시한 것과 같이 노약자들의 낙상가능지역 출입행동에 대한 보안로봇의 인지 및 인식 동작과 사전 위험차단을 위한 실내 경로제어 실증 결과를 제시하고자 한다.

2. 인간의 움직임계측

본 실험 시스템의 개요는 인간의 움직임에 대한 로봇의 인식과 이동에 관한 연구를 구현하기 위한 외부 센서로 레이저파인더 센서를 적용하였다. 또한 낙상가능 지역으로 진입한 노약자의 움직임을 이동물체로 모델링 하였다. 따라서 레이저파인더 센서에서 얻어진 거리 데이터를 바탕으로 인간의 위치 및 속도를 계산 할 필요가 있다. 그림 2는 레이저파인더센서의 측정 주기 T 로 했을 때 인간의 측정거리 데이터를 시간 t_k, t_{k+1} 로서 다음 식 (1)과 같이 표시할 수 있다[4,7].

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

본 연구에서는 그림 2에서와 같이 작은 중심원을 측정거리점으로 했을 때 그 평균 위치에서 측정거리점의 중심을 \times 표시로 나타낼 수 있다. 또한 측정거리점의 중심 위치를 인간의 위치로 간주하였다. 레이저파인더 센서에서는 레이저 빛과 인간이 맞닿는 한 쪽면 밖에 측정할 수 없기 때문에 인간의 중심 위치가 레이저파인더 센서쪽에서 벗어나는 단점이지만 거리계산이 간단한 장점이 있다.

인간의 보행 속도는 그림 2에서와 같이 시간 변화에 따른 중심원의 중심 위치로 구할 수 있다. 정확한 인간의 속

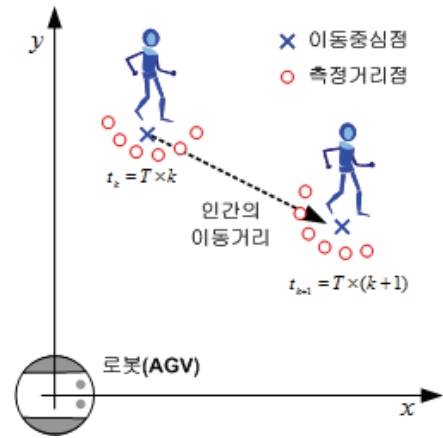


그림 2. 인간 움직임에 대한 위치인식.
Fig. 2. Position recognition for human movement.

도를 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.

따라서 본 연구에서는 보행 인간의 위치를 거리 정보의 중심에서 구하기 위해서는 레이저파인더 센서의 거리 정보에서 인간의 거리 정보만을 뽑아 낼 필요가 있다. 보행인간을 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 로봇에 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 시킨다. 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[10].

III. 진입차단을 위한 로봇의 동작계획

1. 로봇의 경로생성

인간의 진입금지 구역에 대한 로봇의 진로차단 동작을

할 때 요구되는 경로의 조건은 다음과 같이 2가지를 들 수 있다.

- ① 진입 차단을 위하여 보행중인 인간 앞으로 이동할 때 로봇은 인간이 있는 방향으로 향한다.
- ② 가능한 한 로봇은 이동 거리가 짧은 방향으로 주행하도록 한다.

로봇이 보행 인간의 정면으로 이동했음에도 불구하고 인간의 진행 방향으로 향했는지에 대한 경로선정이 모호하게 될 가능성이 있다. 또한 로봇의 이동 거리가 매우 긴 경우 보행중인 인간을 추적행동을 중단할 수 있는 경우가 발생할 수 있다[10,12].

따라서 이러한 모호한 추적 경로진입에 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 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[9,10].

2. 이동궤적 특징

위치 $p_t^k = (x_t^k, y_t^k)$, 보행속도 $v_t^k = (vx_t^k, vy_t^k)$, 진행 방향 $d_t^k = \arctan(x_t^k - x_{t-1}^k, y_t^k - y_{t-1}^k)$ 은 가장 기본적인 이동에 따른 물리량으로 표시할 수 있다. 정지시간 T 는 일정 시간 동안 움직이지 않은 사람에 대하여 부여한 시간을 나타낸다. 경로의 유연성, ζ 는 방향 벡터의 유사성 θ_t^k 를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

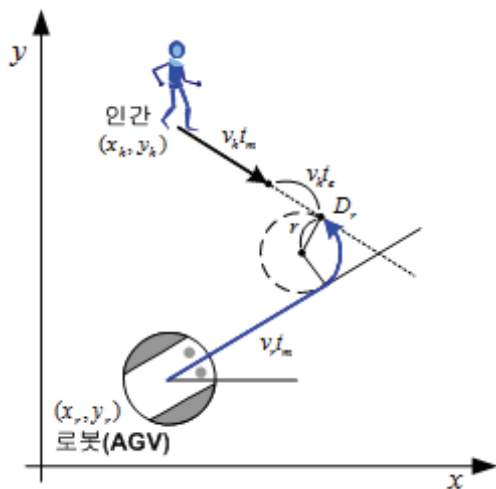


그림 3. 진입차단을 위한 로봇의 경로.
Fig. 3. Trajectory of robot for interrupting human.

$$\theta_t^k = \arccos \frac{d_{t-1}^k \cdot d_t^k}{\|d_{t-1}^k\| \|d_t^k\|}$$

$$\bar{\theta}_t^k = \frac{1}{2}(\theta_{t-1}^k + \theta_t^k)$$

$$\zeta_t^k = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=t-1}^t (\theta_i^k - \bar{\theta}_i^k)^2}$$

본 실험에서는 레이저 포인트의 오차에 따른 추적 결과는 유연한 궤적이 되지 않는다. 따라서 평활화 필터링 과정을 거친 후 유연한 궤적 특성을 계산할 수 있다.

또한, 균중들의 가장 중요한 보행특성은 보행 속도, 활보의 길이(좌우 보폭을 포함한 길이), 그리고 스텝과 스텝 사이의 소요시간을 나타내는 케이던스(보수/분)로 나타낼 수 있다[14]. 육안 판정이 용이하기 때문에 케이던스가 잘 사용되고 있는 것이지만 측정시간이 길기 때문에 동작 인식에는 적합하지 않다. 따라서 본 실험에서는 보다 직관적이고 분절화에 적합한 보행 주기 $\omega_{(L/R)}$ (초 /한보)를 이용하였다. 그리고 좌우 보폭의 차이를 명확하게 하기 위하여 활보의 길이가 아닌 보폭 $s_{(L/R)}$ 을 이용하였다. 보행은 입각기(stance phase: 발이 지면에 닿아 있는 시기로서 정상 보행의 60%를 차지함)과 유각기(swing phase: 발이 지면에서 떨어져 있는 시기로서 정상 보행의 40%를 차지함)에 나뉘며 그 비율은 $r_{(L/R)}$ 로 나타내었다[14].

3. 이동궤적 모델과 예측

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 (4)-(6)과 같다[9,12,13].

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

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

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

XY-평면상에서 이동하는 보행인간의 움직임은 진행속도 성분 v_k 과 각속도 성분 ω_k 로 분해하여 식 (7)-(8)의 이산형 시변 방정식으로 나타낼 수 있다[9]. 보행인간의 운동을 일으키는 v_k 와 ω_k 의 변화는 식 (10)과 같이 랜덤한 운동으로 정의한다. 여기서 ζ_v, ζ_w 는 가우시안 랜덤변수이다.

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

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

$$\delta \theta_{k+\delta t, k} = \omega_k \delta t$$

$$\delta v_{k+\delta t, k} = \zeta_v, \delta \omega_{k+\delta t, k} = \zeta_w$$

보행인간의 모델을 칼만필터에 적용하기 위해서는 식 (11)의 이산시간 상태전이 모델이 필요하다. 보행인간의 이산형 시변 방정식으로 부터 보행인간 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.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_k &= \Phi_{k,k-1} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \\ \mathbf{z}_k &= \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \end{aligned} \quad (11)$$

보행인간을 대상으로 한 이동물체의 상태전이 모델에서 초기상태와 입력이 주어지면 물체의 모든 상태를 예측할 수 있다. 칼만필터를 사용한 상태 추정기로부터 보행인간의 입력에 해당되는 진행 속도와 회전 각속도를 추정하고 근사함수로 모델링하여 이후의 입력을 예측한다. 본 논문에서는 진행속도와 진행 가속도성분, 회전 각속도와 회전 각가속도 성분을 구하여 식 (12)의 일차식으로 근사화한다.

$$\begin{aligned} v_{k+n} &= \hat{v}_k + \hat{a}_{lk} nT \\ \omega_{k+n} &= \hat{\omega}_k + \hat{a}_{\omega k} nT \end{aligned} \quad (12)$$

이와 같이 칼만필터로 추정하여도 잡음이 존재하는 동적 시스템이므로 출력에 대한 잡음에 둔감한 특징을 가지도록 이전의 m 개의 데이터로부터 식 (13)의 최소제곱 추정법을 사용하여 보행속도, 보행 가속도, 회전 각속도, 회전 각가속도 성분이 잡음에 둔감한 특성을 나타내도록 하였다[6].

$$\hat{\theta} = (A^T A)^{-1} A^T y$$

$$\hat{\theta} = \begin{bmatrix} \hat{v}_k & \hat{\omega}_k \\ \hat{a}_{lk} & \hat{a}_{\omega k} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & -T \\ 1 & -2T \\ \vdots & \vdots \\ 1 & -mT \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} v_{k-1} & \omega_{k-1} \\ v_{k-2} & \omega_{k-2} \\ \vdots & \vdots \\ v_{k-m} & \omega_{k-m} \end{bmatrix} \quad (13)$$

예측된 입력과 상태전이 모델인 차분방정식으로 식 (14)과 같이 보행인간의 이후의 궤적을 예측한다.

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k+m} &= x_k + \sum_{h=0}^m v(h) \cos[\theta(h)]T, \quad \hat{y}_{k+m} = y_k + \sum_{h=0}^m v(h) \sin[\theta(h)]T \\ v(h) &= \hat{v}_k + \hat{a}_{lk} hT, \quad \theta(h) = \hat{\theta}_k + \hat{\omega}_k hT + \frac{1}{2} \hat{a}_{\omega k} h^2 T^2 \end{aligned} \quad (14)$$

4. 이동궤적 추적

보행인간의 진입차단을 수행하는 문제에 있어서 목표물이 계속 이동하므로 목표물의 미래 위치와 로봇의 미래 위치를 고려하여 최적의 로봇궤적을 계획하고 로봇을 동작시켜야 한다.

그림 4와 같이 보행인간의 1~M 샘플링 시간후의 위치를 예측하고, 그 중 물체와 거리가 가장 가까워지는 m 시간후의 보행인간의 위치를 로봇의 목표점으로 설정하여 이동함으로써 실시간 및 최단시간내 보행차단 할 수 있도록 한다.

k 시점에서 로봇의 목표점은 식 (15)를 만족하는 m 이후의 예측된 보행인간의 위치 $\hat{\mathbf{x}}_o(k+m)$ 으로 설정한다. 여기서 $\hat{\mathbf{x}}_R(k+m)$ 은 이동로봇이 $\hat{\mathbf{x}}_o(k+m)$ 을 목표점으로 설정

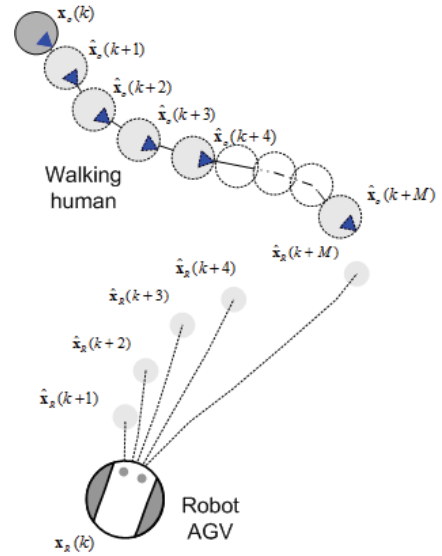


그림 4. 보행인간과 로봇의 예측궤적.

Fig. 4. Predicted trajectory of walking human and robot.

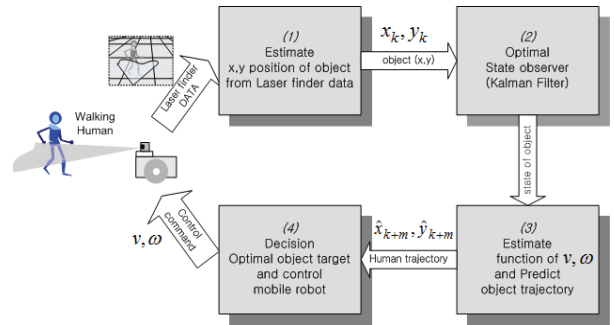


그림 5. 보행인간 진입차단을 위한 알고리즘 구조.

Fig. 5. Strategy structure for capturing moving object.

하여 m 시간동안 움직인 이후의 위치를 나타낸다.

$$\min_{m=1 \sim M} \|\hat{\mathbf{x}}_o(k+m) - \hat{\mathbf{x}}_R(k+m)\| \quad (15)$$

그림 5는 보행인간 진입차단을 위한 이동로봇의 전체 알고리즘을 나타낸다. 먼저 레이저파인더 센서로 이동물체를 데이터 화면에 위치시키고 기구학적 관계를 이용하여 스캔 데이터에서의 물체 좌표를 실제좌표로 변환하여 이동물체의 위치를 구한다[6,11,14]. 다음으로 칼만필터를 이용하여 물체의 상태를 추정하고, 상태벡터에서 보행인간의 진행방향 속도와 회전 각속도를 함수로 근사화하여 이후의 값을 예측한다. 마지막으로 물체의 예측 위치중 최적의 목표지점을 구하여 이동로봇을 움직인다.

IV. 실험

1. 시뮬레이션

논문에서 제시한 방법으로 노약자 즉, 보행인간의 진입을 차단하는 시뮬레이션을 수행하였다. 보행인간의 위치를 관측하는 벡터에 분산 1의 가우시안 백색 잡음을 인가하여 관측시 불확실성을 가지게 하였으며 보행인간의 입력 값으

로도 잡음을 인가하여 불규칙 운동을 하도록 설정하였다.

보행인간의 초기위치는 (50,50)으로 로봇은 (-50,-50)으로 설정하였으며, 로봇의 최고속도는 30cm/sec로 제한하였고 물체는 로봇보다 빠른 운동을 한다.

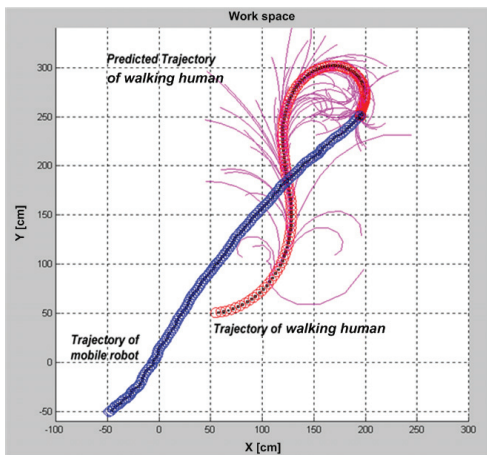
그림 6은 보행인간의 보행속도 및 각속도 입력정보로 식 (16)를 주었을 때의 시뮬레이션 결과이다. 여기서 진행방향은 분산 2, 회전각속도는 분산 0.1의 가우시안 랜덤변수이다.

$$v(k) = 20(\cos(0.03k)+1) + \xi_v \quad [cm/sec]$$

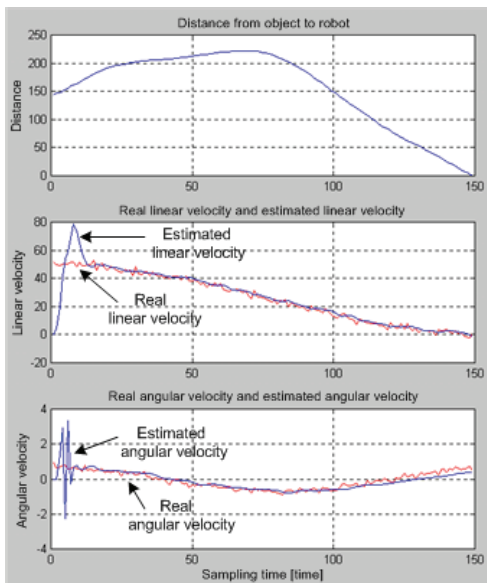
$$\omega(k) = 0.7\sin(0.04k + \frac{\pi}{1.5}) + \xi_\omega \quad [rad/sec] \quad (16)$$

그림 6(a)는 보행인간의 궤적과 로봇의 궤적, 예측한 궤적을 나타낸 것으로서 보행인간이 방향을 전환할 때 더 빨리 포획할 수 있는 방향으로 로봇이 이동했음이 확인된다.

그림 6(b)는 보행인간과 로봇의 거리, 보행인간의 실제 진행속도와 칼만필터로 추정된 진행속도, 그리고 실제 회전 각속도와 추정된 각속도를 나타낸다. 처음에는 추정된 정보



(a) Trajectory.



(b) Estimated state.

그림 6. 시뮬레이션 결과.
Fig. 6. Result of simulation.

에 오차가 크게 나타나지만 이는 곧 수렴되며 실제값에 근사하게 상태가 추정됨을 알 수 있다.

2. 실공간구현

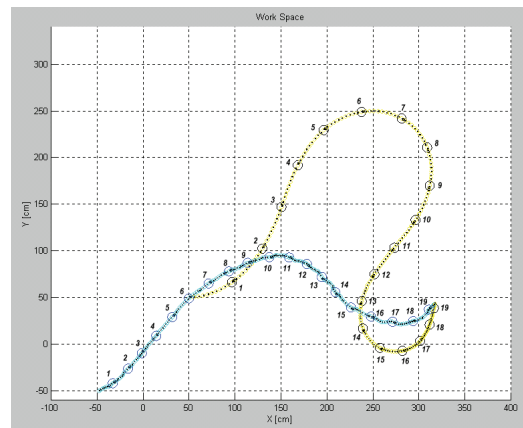
위 시뮬레이션을 기반으로 보행인간의 낙상가능지역 진입에 따른 이동로봇의 최단경로로 주행실험으로 구현하였다.

그림 7은 식 (20)의 정보를 보행인간의 보행속도 및 각속도로 인가하였을 때의 궤적을 나타낸다. 입력의 랜덤성분은 시뮬레이션과 동일하게 인가하였다.

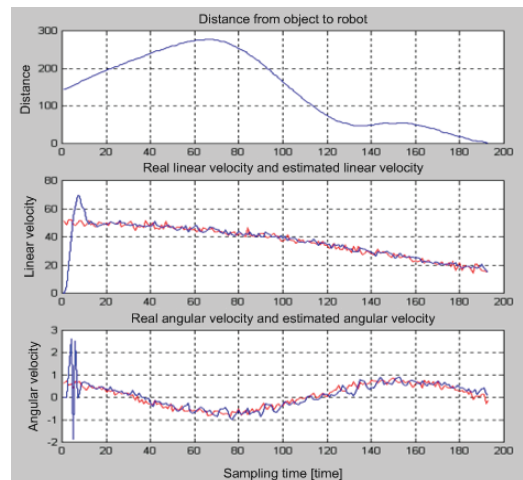
$$v(k) = 25(\cos(0.01k)+1) + \xi_v \quad [cm/sec]$$

$$\omega(k) = 0.7\sin(0.04k + \frac{\pi}{1.7}) + \xi_\omega \quad [rad/sec] \quad (17)$$

그림 7(a)는 보행인간과 로봇의 궤적을 나타낸 것으로 노약자의 걸음 패턴을 S자 형태의 진행방향으로 하였고, 시간에 대한 정보도 같이 나타내기 위해 10샘플 데이터마다 색인을 표시하였다. 결과에서 약 19샘플 시간 후에 로봇이 보행인간의 진입차단을 위한 발걸음 앞까지 진행했음을 알 수 있다. 하지만, 12~15샘플 시간대에서는 로봇이 인간의 전방방향으로 이동하는 것을 알 수 있었으나, 19샘플 시간대에서는 좁은 이동공간 대비 로봇의 이동시간이 다소 짧아 뒤쪽에서 추적하는 결과가 나왔음을 알 수 있었다. 또한,



(a) Trajectory of walking human and mobile robot.



(b) Distance error and estimated state.

그림 7. 실공간 실험 결과.
Fig. 7. Result of experiments.

시간그림 7(b)의 추정된 상태벡터는 시뮬레이션 1과 동일하게 처음에는 큰 오차가 발생하고 이후로는 오차가 수렴됨을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 노약자들의 낙상가능 지역내 진입을 사전에 차단하기 위한 노약자의 행동움직임 예측과 로봇의 주행을 위한 동작계획에 대한 모델링 및 제어기법을 소개하고, 조기에 사고예방을 위한 차단을 수행할 수 있는 모의 및 실증실험 결과를 제시하였다.

이러한 목적 수행을 위하여 이동로봇이 노약자의 움직임을 이동하는 물체로서 인식하고 추적하여 낙상가능의 진입을 차단하기 위한 모델링 및 제어방법을 제시하였다. 제시한 환경 시나리오에 대한 시뮬레이션을 통하여 그 유효성을 검증하였다. 제시한 방법은 크게 다음으로 구분된다.

- ① 레이저 파인더 기구학적 관계를 고려한 추적물체의 위치 추정 알고리즘
- ② 보행인간의 운동을 칼만필터를 이용한 상태추정과 이후의 움직임을 예측하는 방법
- ③ 예측된 궤적에서 최단시간내에 물체를 포획하기위한 로봇동작계획에 대한 방법

우선 제안 연구에 대한 구현해야 할 로봇의 동작, 이동체의 위치와 속도의 산출 및 위치에 따른 경로 계산 등을 고려하여 로봇은 노약자의 움직임을 모니터링하고 표준적인 움직임에서 벗어난 인간을 발견하게 되면 그것을 낙상가능 지역 진입으로 간주하여 인간이 움직이는 전면으로 이동하는 실험결과를 제시하였다.

REFERENCES

- [1] I. Nakatani, H. Saito, T. Kubot, et al., "Micro scanning laser range sensor for planetary exploration," *Proc. of International Conference on Integrated Micro/Nanotechnology for Space Application*, 1995.
- [2] T. Jin, J. M. Lee, and H. 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, Jun. 2006.
- [3] O. C. Jenkins, G. G. Serrano, and M. M. Loper, "Recognizing human pose and actions for interactive robots," *I-Tech Education and Publishing*, pp. 119-138, 2007.
- [4] S. H. Choi, G. J. Kim, Y. K. Kim, and J. M. Lee, "Outdoor Positioning estimation of multi-GPS / INS integrated system by EKF / UPF filter conversion," *Journal of Institute of Control, Robotics and System*, vol. 20, no. 12, pp. 1284-1289, 2014.
- [5] 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," *Proc. of AIAA Guidance Navigation & Control Conference*, 2004.
- [6] B. H. Choi, B. S. Kim, and E. T. Kim, "Location estimation and obstacle tracking using laser scanner for indoor mobile robots," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 329-334, 2011.
- [7] S. M. Lavelle and R. Sharma, "On motion planning in changing partially predictable environments," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 16, no. 6, pp. 705-805, Dec. 1997.
- [8] M. W. Spong and M. Vidyasagar, *Robot Dynamics and Control*, John Wiley & Sons, Inc. 1989.
- [9] H. S. Lim, D. H. Lee, and J. M. Lee, "Moving object following by a mobile robot using a single curvature trajectory and Kalman filters," *Journal of Institute of Control, Robotics and System (in Korean)*, vol. 19, no. 7, pp. 599-604, 2013.
- [10] X. Shao, H. Zhao, K. Nakamura, R. Shibasaki, R. Zhang, and Z. Liu, "Analyzing pedestrian's walking pattern using single-row laser range scanners," *Proc. of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2006)*, vol. 2, pp. 1202-1207, 2006.
- [11] A. K. Jain, R. P. W. Duin, and J. Mao, "Statistical pattern recognition: A review," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 1, pp. 4-37, 2000.
- [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," *Proc. of 2005 5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, Tsukuba, Japan, pp. 450-455, Dec. 2005.
- [13] T. S. Jin and H. Hashimoto, "3D walking human detection and tracking based on the IMPRESARIO Framework," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 8, no. 3, pp. 163-169, 2008.
- [14] KirstenGotz-Neumann, "Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie," Thieme, 2005.



진태석

1998년 진주산업대학교 전자공학과 졸업. 2000년 부산대학교 대학원 석사. 2003년 동 대학 박사. 2006년~현재 동서대학교 메카트로닉스공학과 교수. 관심분야는 지능시스템, 다중센서, 다중이동물체 추적, 영상인식.