

## 노약자를 위한 인간 친화형 간호 로봇 시스템

홍현석, 유동현, 권한조, 정명진  
한국과학기술원 전자전산학과

### Human-friendly Care Robot System for the Elderly

Hyun Seok Hong, Dong Hyun Yoo, Han Jo Kwon, Myung Jin Chung  
Department of Electrical Engineering and Computer Science, KAIST

#### Abstract

도우미로봇은 혼자 힘으로 걷기 어려운 노약자를 보조하는 보행 보조 기능과 다양한 오락 기능을 수행하는 로봇이다. 이 로봇은 음원 위치 추정기법에 의해서 어느 방향에서 소리가 발생하였는지 알아내고 그 방향으로 머리를 회전한다. 로봇의 머리에는 CCD카메라가 장착되어 있어서 카메라로부터 들어오는 영상에서 사람의 얼굴을 찾고 그 사람이 있는 곳까지 자율 주행 기능에 의해서 장애물을 회피하며 이동한다. 사용자의 앞까지 이동하면 로봇은 이동을 멈추고 사용자로부터 명령을 받을 때까지 대기한다. 노약자는 로봇의 전반부에 부착되어 있는 터치스크린을 이용하여 로봇에게 다양한 명령을 내릴 수 있다. 로봇은 명령에 따라 보행 보조 작업을 수행하거나 전자메일, 음악, 영화 등 다양한 엔터테인먼트 서비스를 수행하게 된다.

#### 1. 서 론

현대 의료 및 과학기술의 비약적인 발달은 인간의 수명은 점차 연장시키고 이로 인해 점차 노령인구가 늘어가고 있다. 이와 같은 사회의 노령화 현상은 결국 노인들을 위한 노동력을 요구하고 노인들을 위한 상품 시장이 확대되는 결과를 낳았다. 이러한 문제에 대한 한 가지 해결방안으로 떠오르는 것이 서비스 로봇이다. 서비스 로봇으로는 가정에서 청소를 하거나 도난 방지 등의 일을 하는 로봇이나 병원 등에서 환자를 도와주는 로봇을 생각할 수 있는데 이는 고임금의 노동력을 대체할 수 있고 우리의 생활을 더 편하게 해주는 역할을 할 것이다. 다양한 서비스 로봇 중에서 간호 로봇 시스템(care robot system)은 노약자나 장애인, 환자를 도와주는 로봇으로 아직 그 연구가 미비한 상태지만 간단한 작업을 하는 수준에서 CMU 등의 여러 대학에서 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서 소개하고자 하는 도우미 로봇은 노약자를 위한 간호 로봇으로 특히 혼자서 이동이 어려운 노약자를 대상으로 하고 있다. 도우미 로봇은 노약자로봇에 의지해서 이동할 수 있도록 하는 보행 보조 기능이 주목적이고 그 외에도 다양한 엔터테인먼트 기능을 제공한다. 또한 사용자의 편의를 위해 인간 친화형으로 설계되었고 지능형 인간-로봇 인터페이스를 지원한다. 이를 위해 한 개의 CCD 카메라와 다수의 초음파 센서, 적외선 센서가 사용되어 음원 위치 추정, 얼굴 추적, 자율 이동, 장애물 회피가 가능하다. 본 논문에서는 개발된 도우미 로봇의 기능과 시스템 구성, 그리고 세부 기능을 다룬다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 개발된 간호 로봇 시스템의 시스템 구성을 다루고 3장에서는 세 가지 핵심 모듈인 sound localization, 얼굴 추적, 자율 주행 방법을 구체적으로 설명하고 실험결과를 보인다. 마지막으로 4장에서 결론을 말하고 끝맺는다.

#### 2. 간호 로봇 시스템의 구성

개발된 간호 로봇 시스템의 외형은 그림1과 같고 그 내부 구조는 그림2와 같다. 그림에서처럼 로봇은 이동 로봇 형태로 머리 부분에 한 개의 CCD카메라와 팬틸트 유닛이 장착되어있고 하단부에는 장애물 감지를 위한 다수의 초음파 센서와 적외선 센서가 부착되어있다. 로봇의 전면부에는 사용자 인터페이스를 위해 터치스크린이 장착되어있다. 그리고 후면에는 노약자가 이동시 지탱하기 위한 지지대가 있고 로봇을 조정하기 위한 버튼과 비상시에 로봇의 동작을 강제로 중지시키기 위한 비상 스위치가 있다. 시스템의 구성은 다음과 같다.

- Pentium III PC, Touch screen
- 12 초음파 센서, 12 적외선 센서
- 1 CCD 카메라, Pan-tilt unit
- 2 microphone
- 2 driving wheels
- wireless lan

그림 3은 간호로봇의 시스템 구성도로 적외선 센서와 초음파 센서의 제어와 이동부의 모터를 제어는 마이크로프로세서가 담당하고 있다. 마이크로프로세서와 메인컴퓨터는 시리얼통신에 의해서 명령과 데이터를 주고 받는데 센서로부터 들어온 데이터가 메인컴퓨터로 전송되고 메인컴퓨터에서 모터로 이동 명령이 전송된다. 로봇의 비전 카메라로부터 들어온 영상에 대한 처리와 다음 동작에 대한 판단은 메인컴퓨터에서 이루어진다. 카메라를 회전시키기 위해서 역시 시리얼통신을 통해 팬-틸트 장치로 회전 명령이 전송되고 로봇이 이동하기 위해서 거리와 방향이 마이크로프로세서로 전송된다.

#### 3. 간호 로봇 시스템의 기능

도우미로봇은 혼자 힘으로 이동하기 어려운 노약자를 보조하는 보행 보조 기능이 주된 기능으로 로봇이 노약자로부터 멀리 떨어져있을 때 노약자는 로봇을 박수로 부른다. 그러면 로봇은 그 소리를 인식하고 sound localization기법에 의해서 어느 방향에서 소리가 발생하였는지 알아내고 그 방향으로 머리를 회전한다. 로봇의 머리에는 CCD카메라가 장착되어 있어서 카메라로부터 들어오는 영상에서 사람의 얼굴을 찾고 그 사람이 있는 곳까지 자율 주행 기능에 의해서 장애물을 회피하며 이동한다. 사용자의 앞까지 이동하면 로봇은 이동을 멈추고 사용자로부터 명령을 받을 때까지 대기한다. 노약자는 로봇의 전반부에 부착되어 있는 터치스크린을 이용하여 로봇에게 다양한 명령을 내리고 로봇은 명령에 따라 보행 보조 작업을 수행하거나 다양한 엔터테인먼트 서비스를 수행하게 된다. 도우미 로봇의 핵심 기능은 아래와 같다.

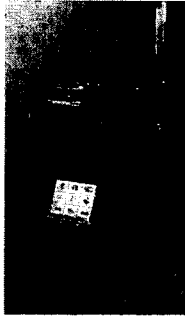


그림 1. 개발된 간호 로봇 시스템

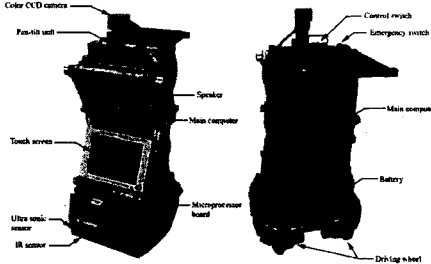


그림 2. 간호 로봇의 내부 구성

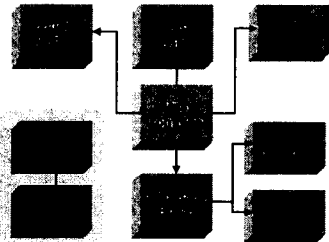


그림 3. 간호 로봇의 시스템 구성도

- ▶ 이동 보조 기능(walking support)  
이동 보조 기능은 도우미로봇의 핵심 기능으로 로봇의 상단부에 노약자가 기대어서 이동을 할 수 있도록 하는 기능이다.
- ▶ 지능형 인간-로봇 인터페이스 기능  
인지 능력과 조작 능력이 떨어지는 노약자들이 쉽게 로봇을 조작할 수 있는 지능형 맨-머신 인터페이스를 지니고 있다. 이러한 지능형 맨-머신 인터페이스로는 주변의 소리를 인식하여 음원의 발원지의 방향을 알아내는 음원 위치 추정 방법(sound localization)과 사람의 얼굴을 추적할 수 있는 얼굴 추적 시스템(face tracking system)이 있다. 음원 위치 추정 방법은 카메라의 시야각이 좁아서 카메라에 얼굴이 없는 경우에는 추적할 수 없는 단점을 극복하기 위해 함께 사용되었다.
- ▶ 자율 주행 기능(autonomous navigation)  
로봇은 사용자에게 서비스를 제공하기 위해서 사용자에게 접근하여야 하는데 이때 로봇은 자율 주행 기능에 의해서 이동하게 된다. 로봇에 장착되어 있는 적외선 센서와 초음파 센서를 이용하여 장애물을 회피하고 CCD카메라를 이용하여 사용자를 추적한다.
- ▶ 엔터테인먼트 기능

노약자의 경우 많은 시간을 집에서 혼자 보내게 되는 경우가 많다. 도우미로봇은 단순히 이동 보조 역할 외에도 노약자의 조력자로서 충분한 역할을 할 수 있다. 노약자의 경우 치매와 같은 기억력 저하로 인해 약품 복용과 같은 해야 할 일을 잊게 되는 수가 종종 있다. 도우미로봇은 여러 가지 일들은 노약자에게 상기 치켜 준다. 시력이 저하된 노약자를 위해서는 이메일을 읽어주기도 하고 무선 LAN을 통해서 다른 사람과 화상 전화를 할 수 있다. 또한 음악 듣기, 영화 보기 등의 여가활동도 도우미로봇을 이용하여 할 수 있다.

### 3.1 Sound Localization

사람이 양쪽의 두 귀를 사용하여 소리의 방향을 측정하는 것처럼, 로봇에게도 두 귀에 해당하는 마이크를 장착하여 소리의 방향을 판별해내도록 할 수 있다. 음원의 위치를 파악하는 방법은 크게 각각의 마이크로 부터 받아들인 데이터의 크기(amplitude)를 비교하는 방법과 데이터의 위상(phase)을 비교하는 방법이 있다 [1][2]. 위상을 비교하는 방법이 크기를 비교하는 방법에 비하여 상대적으로 노이즈에 덜 민감하며 위상의 차이가 음원으로부터 측정 마이크까지의 거리와는 상관없이 단순히 음원과 측정 마이크 사이의 각도에만 의존하므로 크기를 이용한 방법에 비하여 보다 정확한 측정치를 얻을 수 있다.

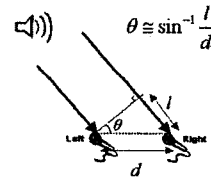


그림 4. 음원 위치 추정

그림4와 같이 두 대의 마이크가 일정 거리  $d$ 만큼 떨어져서 설치되어 있으면 마이크로부터 얻어진 음성신호 파형은 그림5와 같다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 양쪽의 데이터가 매우 유사한 파형을 지니고 있으며 단순히 한쪽의 파형이 다른 쪽 파형에 비해 일정한 시간 지연을 갖고 있는 것을 알 수가 있다. 기하학적으로 이러한 시간 지연은 아래의 식과 같이 두 마이크 사이의 거리와 음원과 마이크 사이의 각도에만 의존하므로 마이크 사이의 거리( $d$ )와 측정된 음성파형에서의 시간 지연( $t_d$ )을 측정하면 아래 식과 같이 마이크와 음원 사이의 각도( $\theta$ )를 찾아 낼 수 있다.

$$l = vt_d \quad (1)$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{l}{d} \quad (2)$$

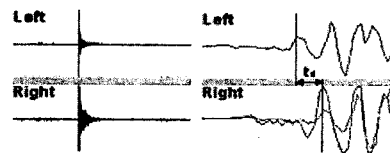


그림 5. 두 개의 마이크로로부터 얻은 음원데이터 ((a) 검출된 소리파형, (b)시간축을 확대해서본 파형)

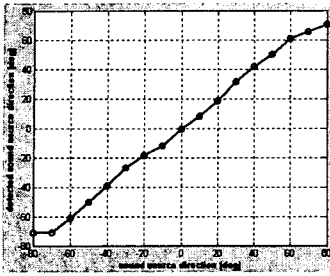


그림 6. 실제 음원의 방향과 알고리즘에 의해 찾아진 음원의 발생방향

그림6은 10° 간격으로 음원을 발생시켰을 때, 설명한 방법을 이용하여 음원의 방향을 탐지한 결과그래프이다. 실험결과 2.4235°의 오차평균, 2.6176°의 표준편차 내에서 음원의 방향을 탐지하였다.

### 3.2 Face Tracking

얼굴 추적 시스템에서는 사람의 얼굴에 표현된 정보를 획득하고 사용자의 위치를 파악하기 위하여, 카메라로부터 들어온 영상에서 사람의 얼굴위치를 파악하는 역할을 한다. 도우미로봇의 얼굴 추적 시스템에서는 팬-틸트 장치를 이용하여 머리의 움직임의 범위가 큰 경우에도 카메라를 움직여서, 효과적으로 사람의 얼굴을 추적할 수 있도록 하였다. 얼굴추적 알고리즘은 그림 7과 같다.

각 단계별 설명은 다음과 같다.

#### Step 1: Initialize Functional Units

모듈화된 각 부분을 초기화해준다.

#### Step 2: Update Image

이미지 그래픽으로부터 새로운 영상을 획득한다.

#### Step 3: Color Thresholding

영상에서 피부색과 같은 특정색상을 추출한다. 본 시스템에서는 HSI 색상공간에서 사람의 피부색을 감지한다.

#### Step 4: Labeling

Color Thresholding을 통해 피부색으로 판단된 부분은 이전 영상으로 출력된다. 이렇게 얻어진 영상에서 각 객체를 구별하는 번호를 할당하는 과정이다. 이렇게 구분된 객체의 영역은 얼굴후보영역이 된다. 또한 이 단계에서는 이전 시간에서의 추적하였던 얼굴위치를 이용하여 후보영역을 선택하므로 얼굴추적의 기능을 포함한다.

#### Step 5: Preprocessing

각 얼굴후보영역에 대하여 부분적으로 밝은 조명이나 흐릿한 영상을 균일 조명 상황에서 선명한영상으로 바꿔준다. 후보영역에 대하여 2차원 선형근사된 결과를 이용하여 부분적인 밝은조명의 효과를 감소시키고, 히스토그램 균등화 과정을 통해 흐릿한 영상을 선명하게 만들어 준다.[3] 이 과정은 후보영역에 얼굴이 존재하는지 검색하는 다음과정인 패턴매칭 결과를 더 신뢰성있게 만들어 주게 된다.(그림8)

#### Step 6: Face Pattern-Matching

각 얼굴후보영역들을 타원근사하여 얻은 타원의 장축 및 단축의 방향과 크기를 이용하여 영상에 대응할 얼굴패턴의 크기와 방향을 결정한다. 이때, 패턴매칭은 normalized correlation coefficient을 이용하여 수행된다.



(a) (b) (c) (d)

그림 8. Preprocessing 단계에서 부분적인 조명의 제거 및 명암대조비를 높임 ((a) 얼굴후보영역의 256색배치, (b) 검출된 얼굴후보영역의 전체적인 조명, (c) 얼굴후보영역에서 전체적인 조명값을 뺀 영상 [(a)-(b)], (d) 영상(c)로부터 히스토그램균등화를 통하여 명암대조비를 높인 영상)



그림 9. 얼굴 패턴 모델 생성에 사용된 영상들(일부)

그림9는 패턴매칭을 위한 패턴모델을 만들기 위한 데이터베이스 얼굴 이미지들의 일부이다. 이미지들의 평균영상을 취하여 얼굴 패턴 모델을 획득하였다.

패턴매칭을 할 때, 일반적인 사람의 얼굴 패턴이미지의 크기와 영상에서 존재하는 얼굴의 크기가 다를 수 있으므로, 여러 크기의 패턴영상들을 미리 준비한 후 모든 패턴에 대해서 패턴매칭을 시도하는 연구들이 있었다. 그러나 이러한 방법은 패턴의 개수를 정하기 어려운 문제가 있으며, 패턴매칭의 횟수를 늘림으로써 얼굴검출의 실시간처리에 큰 부담이 된다. 본 연구에서는 각 얼굴 후보영역을 타원근사를 한 후, 타원의 단축의 길이를 사용하여 패턴의 크기를 정하였다. 이로 인해 실시간 얼굴 검출이 가능하였다. 타원근사는 영상에서 피부색상영역의 모멘트(M)를 이용하여 구할 수 있다. 모멘트는 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$M = \begin{bmatrix} m_{20} & m_{11} \\ m_{11} & m_{02} \end{bmatrix} \quad (3)$$

이때,

$$\overline{m_{11}} = \sum_x \sum_y (x - \overline{x})(y - \overline{y}) \quad (4)$$

$$\overline{m_{20}} = \sum_x \sum_y (x - \overline{x})^2 \quad (5)$$

$$\overline{m_{02}} = \sum_y \sum_x (y - \overline{y})^2 \quad (6)$$

$$\overline{x} = \text{mean}(x) \quad (7)$$

$$\overline{y} = \text{mean}(y) \quad (8)$$

이다. M의 두 개의 eigen vector, eigen value 쌍은 자기 타원근사된 영역의 장축과 단축의 방향 및 크기를 나타내게 된다. 그림10은 실험결과를 보여준다.

### 3.3 Autonomous Navigation

로봇은 앞에서 언급한 얼굴 추적에 의해 사람의 얼굴 위치를 인식하고, 12개의 초음파와 12개의 적외선 센서에 의해 장애물들의 위치를 인식하게 된다. 각 정보를 종합하여 vector field method[5]로 로봇은 장애물과의 충돌을 피하면서 사람이 있는 곳까지 이동한다.

로봇의 초기 위치를  $(x_0, y_0)$ , 초기 속도를



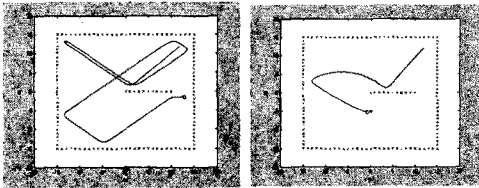
(a) (b) (c)  
 그림 10. 얼굴 탐지 및 추적의 결과 ((a)입력영상, (b) 특정색상(피부색)의 획득 및 얼굴 후보영역탐지. 화살표는 타워근사한 결과의 장축, 단축. (c)페턴매칭을 통한 얼굴 탐지 결과(흰색 사각형))

$(v_{x0}, v_{y0})$ , 현재 위치를  $(x, y)$ , 얼굴의 위치를  $(x_{goal}, y_{goal})$ , N개의 장애물들의 위치를  $(x_{o(i)}, y_{o(i)})$ , ( $i=1, \dots, N$ )라고 하자. 목표점에 의해 로봇에 인력이 가해지며, 그 인력은 다음과 같이 표현된다.

봇의 가속도를  $(a_x, a_y)$ 라고 하면 다음과 같은 수식을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} = K_1 f_{goal} + K_2 f_{obs} \quad (12)$$

$K_1$ 과  $K_2$ 는 상수이며,  $K_1$ 이  $K_2$ 보다 더 큰 값을 가지게 되면, 로봇은 목표점으로 수렴하는 운동을 하게 된다. 그림11은 위의 방법으로 시뮬레이션을 수행한 결과이다.



(a) (b)  
 그림11. 자율 이동 주행의 시뮬레이션 결과('o'표시는 로봇의 위치, 'x' 표시는 장애물들의 위치, '\*' 표시는 얼굴의 위치이며, 검은 실선은 로봇의 궤적이다. 그래프의 단위는 m이며, 로봇의 초기 위치와 초기 속도는  $(12, 12)$  (m),  $(-0.1, -0.1)$ (m/s),  $K_1=6, K_2=1, R_c=3$ (m) 이다. ((a)얼굴이 없는 경우(Free running), (b)  $(x_{goal}, y_{goal}) = (0, -5)$ (m)인 경우)

$$f_{goal} = \frac{1}{(x_{goal} - x)^2 + (y_{goal} - y)^2} \begin{bmatrix} x_{goal} - x \\ y_{goal} - y \end{bmatrix} \quad (9)$$

장애물에 의한 척력은 다음과 같이 표현된다.

$$f_o = - \sum_{i=1}^N \frac{1}{(x_{o(i)} - x)^2 + (y_{o(i)} - y)^2} \begin{bmatrix} x_{o(i)} - x \\ y_{o(i)} - y \end{bmatrix} \quad (10)$$

장애물에 의한 척력은 거리에 제곱에 반비례하므로, 장애물들 중 임계반경  $R_c$  외부에 존재하는 장애물들에 의한 척력은 무시할 수 있다. 임계반경  $R_c$  내부에 존재하는 M개의 장애물들의 위치를  $(x'_{o(i)}, y'_{o(i)})$ , ( $i=1 \dots M$ ) 라고 하면 이들에 의해 발생하는 척력은 다음과 같다.

$$f_o' = - \sum_{i=1}^M \frac{1}{(x'_{o(i)} - x)^2 + (y'_{o(i)} - y)^2} \begin{bmatrix} x'_{o(i)} - x \\ y'_{o(i)} - y \end{bmatrix} \quad (11)$$

이러한 힘들에 의해 로봇은 가속도를 받게 된다. 로

#### 4. 결 론

도우미로봇은 혼자 힘으로 거동이 어려운 노약자를 보조하는 보행 보조 로봇으로 보행 보조 기능과 영화, 음악 등 다양한 엔터테인먼트 기능을 제공한다. 로봇은 인간 친화형으로 설계되었고 사용자의 편의를 위해 지능형 인간-로봇 인터페이스를 갖추고 있다. 음원 위치 추정, 얼굴 추적을 통해 로봇은 사용자를 찾고, 자율 주행 기능에 의해서 장애물을 회피하면서 이동할 수 있다.

개발된 도우미로봇은 아직 초기 단계의 간호 로봇으로 간호 기능을 다양하게 할 수는 없지만 서비스 로봇으로서의 편리한 인간-로봇 상호작용이 가능하고 다양한 부가 기능을 제공하는 인간친화형 로봇이다.

#### [참 고 문 헌]

[1] J. Huang, T. Supaongprapa, I. Terakura, N. Ohni shi, and N. Sugie, "Mobile robot and sound localization", IEEE Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.683-689, 1997.  
 [2] P. Chiang-Jung, J.G. Harris, and J.C. Principe, "A neuromorphic microphone for sound localization" IEEE Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, pp.1469-1474, 1997.  
 [3] H.A. Rowley, S. Baluja, and T. Kanade, "Neural network-based face detection", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.20, No.1, p.23-38, 1998.  
 [4] J. Yang, A. Waibel, "A real-time face tracker", IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp.142-147, 1996  
 [5] J. Borenstein and Y. Koren, "The vector field histogram fast obstacle avoidance for mobile robot," IEEE Trans. on Robotic and Automation, Vol.7, No.3, pp.278-288, 1991.