

工學碩士 學位論文

적외선 레인지파인더와 CCD 카메라를
이용한 지능 휠체어용 표적 추적
시스템에 관한 연구

**A Study on Target Tracking System for an Intelligent Wheelchair
Using Infrared Range-finder and CCD Camera**

指導教授 河 潤 秀

2003 年 2 月

韓國海洋大學校 大學院

制 御 計 測 工 學 科

韓 東 熙

목 차

Abstract	iii
제 1 장 서론	1
제 2 장 지능 휠체어.....	4
2.1 전체 시스템의 구성.....	4
2.2 주행 알고리즘.....	7
2.2.1 PWS 기구학.....	7
2.2.2 추측항법에 의한 위치추정.....	8
제 3 장 표적 추적 시스템.....	10
3.1 시스템의 구성.....	10
3.1.1 적외선 레인지파인더 센서.....	11
3.1.2 CCD 카메라.....	13
3.2 표적 추적 알고리즘.....	15
3.2.1 적외선 레인지파인더를 이용한 표적의 인식.....	15
3.2.2 CCD 카메라를 이용한 표적의 인식.....	21
3.2.3 센서 데이터 융합을 이용한 추적.....	28
제 4 장 실험 및 고찰.....	33

4.1 실험 환경.....	33
4.2 실험 결과.....	34
제 5 장 결론	40
참고문헌	41

A Study on Target Tracking System for an Intelligent Wheelchair Using Infrared Range-finder and CCD Camera

Dong-Hee Han

*Department of Control and Instrumentation Engineering,
Graduate School, Korea Maritime University*

ABSTRACT

In this thesis, the target tracking system for an intelligent wheelchair using infrared range-finder and CCD camera is discussed. The tracking system is designed such that the wheelchair can follow a path of human once in a while. The problem of human tracking requires a recognition of feature as well as a tracking of human position. Therefore, infrared range-finder and CCD camera create target candidate through each target recognition algorithm. But, target tracking that uses single vision sensor has low accuracy due to uncertainties of target decision and position error. In this thesis, therefore, a data fusion algorithm which reduces the uncertainties of target decision and corrects the position error of human is proposed. The effectiveness of the proposed method is verified through experiments.

제 1 장 서 론

최근 산업기술의 발달과 함께 교통사고 및 각종 산업재해로 인한 후천적 장애인구의 증가와 노령층의 증가가 사회문제로 대두되고 있다. 또한 이들 노약자나 장애인의 대부분은 생활의 다방면에서 정상인과 동일한 삶을 영위하기를 원하는 등 적극적인 사회활동을 희망하고 있다. 그러나 손과 다리 등에 복합적인 장애를 가지고 있는 사람은 낮은 이동능력으로 인하여 사회활동 참여가 극히 제한될 수 밖에 없다. 따라서 이들의 사회활동 참여의 기회를 넓히고 사회활동을 보조하기 위해서는 다양한 신체장애 형태를 고려한 지능 휠체어의 개발이 절실히 요구된다. 일반적으로 휠체어의 원활한 조작을 위해서는 사용자의 상당한 집중력이 요구되며, 조작시간이 장기화 될 경우 신체일부의 피로증가는 불가피하다. 이러한 관점에서 볼 때 휠체어는 사용자에게 의한 최소한의 조작으로 자율적인 주행이 가능하여야 한다.

최근, 기존의 조이스틱을 통한 조작을 기본으로 하는 전동 휠체어의 형태에서 벗어나 조이스틱 조작이 불가능한 장애인들을 대상으로 다양한 형태의 휠체어가 개발되고 있으며, 이를위해 VAHM(véhicule autonome pour handicapés moteurs) project 등과 같은 맨-머신 인터페이스에 관한 연구도 활발히 진행중이다[1].

의료시설이나 공공장소, 또는 일상생활 속에서 특정한 대상을 따라가야 하는 등의 경우에 있어서 휠체어 스스로 그 대상을 추종할 수 있는 기능은 휠체어의 직접조작에 대한 사용자의 부담을 줄일 수 있는

구체적인 방안이 될 수 있다. 지능 휠체어에 이러한 기능을 부여하기 위해서는 특정대상의 인식 및 추적기능이 반드시 필요하다. 이동로봇 분야에 있어서 대상의 인식 및 추적을 위한 시각 센서로는 레이저 레인지파인더, 초음파 센서, CCD 카메라 등이 일반적으로 사용된다[2][3]. 레이저 레인지파인더는 넓은 탐색범위와 물체에 대한 고정도의 거리 및 각도정보를 실시간적으로 제공하지만 고가의 가격부담이 따른다. 또한 초음파 센서 시스템은 구성이 간단하고, 데이터 처리의 실시간성 보장과 더불어 센싱비용이 저렴한 장점이 있으나 넓은 지향각, 경면반사, 다중반사 등으로 인한 센싱오류가 존재한다. 반면, CCD 카메라를 이용할 경우 방대한 데이터 처리를 위해 고성능의 프로세서를 필요로 하지만, 특정 대상의 색상이나 명암 또는 형상정보를 얻을 수 있으므로 표적 추적 분야에의 응용이 활발하다[2]. 그러나 특정대상에 대한 휠체어의 자율적인 추종을 위해서는 표적의 인식과 동시에 이차원 위치정보가 반드시 필요하기 때문에 단일의 CCD 카메라에 의한 위치정보 획득은 불가능하다.

이에 본 논문은 이러한 문제점을 보완하면서 데이터 처리에 따른 부담과 센싱비용을 줄이기 위한 방안으로 CCD 카메라와 적외선 레인지파인더를 이용한 표적 추적 시스템 및 추적 알고리즘을 제안한다. 적외선 레인지파인더는 하나의 센서로 넓은 범위의 이차원 환경정보에 대한 거리 및 각도정보를 동시에 제공하면서 염가의 가격으로 구입이 가능한 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 적외선 레인지파인더를 이용하여 얻은 이차원 환경정보를 통해 표적의 위치를 산출하고, CCD

영상으로부터 얻은 영상정보를 융합함으로써 표적에 대한 불확실성과 위치오차를 줄일 수 있는 표적의 인식 및 추적 알고리즘을 갖는 저비용의 표적 추적 시스템의 구현에 대하여 논한다. 제안된 방법에 대한 유효성은 실험을 통하여 검증된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 지능 휠체어의 전체적인 구성과 주행 알고리즘을 간략히 소개한다. 제 3장에서는 실험에 사용된 적외선 레인지파인더와 CCD 카메라의 소개와 함께 표적 추적 시스템의 구성을 기술하고 각각의 표적 추적 알고리즘을 서술한다. 제 4장에서는 제안된 방법에 대한 유효성을 실험을 통하여 검증을 하며 제 5장에서 결론을 내린다.

제 2 장 지능 휠체어

2.1 전체 시스템의 구성

기존의 전동 휠체어는 대부분 조이스틱을 통하여 제어된다. 그러나 장애의 종류 및 정도에 따라 조이스틱의 조작이 불가능한 경우도 있다. 따라서 장애의 종류 및 정도에 관계없이 휠체어를 이용해 목적지까지 이동하기 위해서는 휠체어 자체의 환경인식 기능이 반드시 요구된다. 본 절에서는 특수한 표적을 추적 할 수 있는 환경인식 시스템을 장착한 지능 휠체어의 구성에 대해 언급한다.

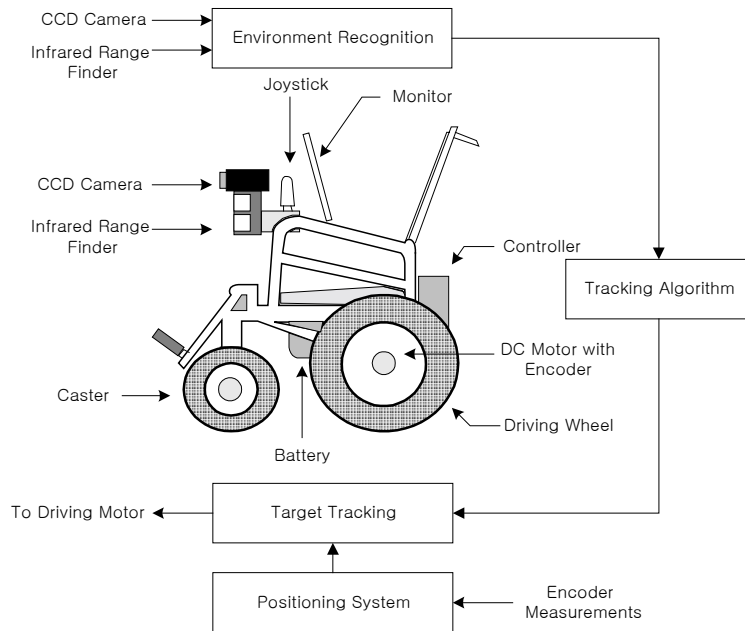


그림 2.1 지능 휠체어의 구성

Fig. 2.1 Configuration of the intelligent wheelchair



사진 2.1 SUZUKI사의 전동 휠체어 MC-13S

Photo. 2.1 The power wheelchair MC-13S

그림 2.1은 본 논문에서 대상으로 하고 있는 지능 휠체어의 구성을 나타낸 것이다. 사진 2.1은 본 연구에 이용된 SUZUKI사의 전동 휠체어 MC-13S를 나타낸다. MC-13S는 두개의 구동륜과 자세유지를 위한 두개의 보조륜을 가진다. 구동륜은 1:33.5의 기어비를 가지는 감속기어를 통하여 구동모터(DC 24V 170W)와 연결되어 있다. 구동륜의 회전정보 획득을 위하여 각각의 구동모터 축에 분해능 1024 Pulse의 Encoder가 부착되었다. 또한 이동체의 위치 및 방위는 PWS(Power Wheeled Steering) 기구학에 기반한 추측방법으로 추정되어진다.

시스템의 주컨트롤러로는 Intel Pentium III 1GHz의 CPU를 탑재한 IEI사의 PCISA-3717EVT의 산업용 컴퓨터를 이용하고 있으며, 그 외관을 사진 2.2에 나타낸다. 표적 추적을 위한 센서로는 HUKUYO사의 PB9-01 적외선 레인지파인더와 CANON사의 VC-C4 CCD 카메라를 이용하였으며, 센서 데이터 처리를 위한 인터페이스 장치로 16 Bit Up-Down Counter 보드와 8 Bit D/A Converter 및 Matrox사의 Meteor2 Frame Grabber를 장착하였다. 휠체어 시스템의 모든 제어를 위한 전원은 자체 내장하고 있는 24V Battery에 의해 공급되어진다.

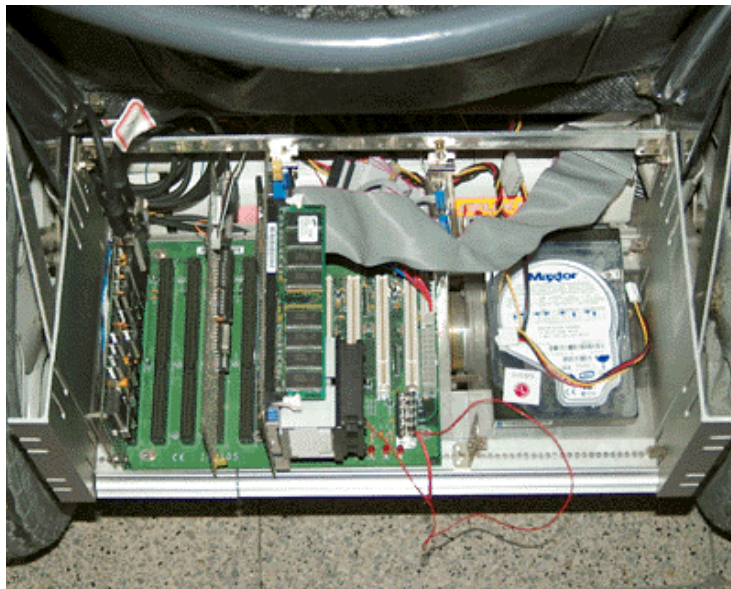


사진 2.2 주컨트롤러 모듈

Photo. 2.2 Main controller module

2.2 주행 알고리즘

2.2.1 PWS 기구학

그림 2.2의 (a)는 지능 휠체어의 위치추정에 이용될 주요 파라미터를 정의한 것으로 R_l , R_r , L 은 각각 좌·우 차륜반경과 차륜간 간격을, ω_l , ω_r 은 좌·우 차륜의 회전각속도를 나타내며 V , ω 는 구동륜축 중심에서의 휠체어의 병진속도와 회전각속도를 나타낸다. 여기서 휠체어의 병진속도 $V(t)$ 와 회전각속도 $\omega(t)$ 는 차륜반경, 좌·우 차륜의 회전각속도 및 차륜간 간격에 의해 식 (2.1)과 같이 나타내어질 수 있다.

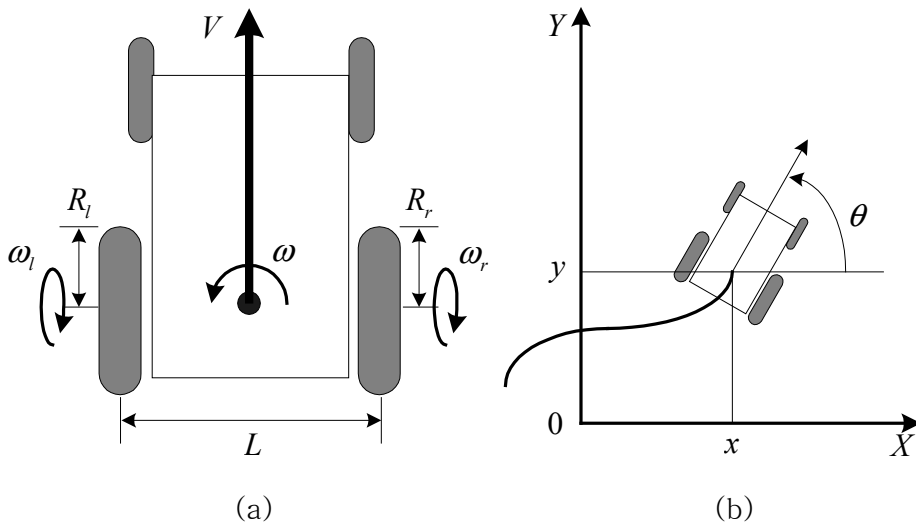


그림 2.2 지능 휠체어의 파라미터(a)와 위치변수(b)

Fig. 2.2 Parameters of the intelligent wheelchair(a) and its position variables for navigation on X-Y plane(b)

$$\begin{pmatrix} V(t) \\ \omega(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{R_r}{2} & \frac{R_l}{2} \\ \frac{R_r}{L} & -\frac{R_l}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_r(t) \\ \omega_l(t) \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

또한 식 (2.1)에서 목표 병진속도 V_{ref} 와 목표 회전각속도 ω_{ref} 가 주어진다면 각 차륜의 목표회전각속도 ω_{rref} , ω_{lref} 는 식 (2.2)와 같이 주어진다[6][10].

$$\begin{pmatrix} \omega_{rref} \\ \omega_{lref} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{R_r} & \frac{L}{2R_r} \\ \frac{1}{R_l} & -\frac{L}{2R_l} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{ref} \\ \omega_{ref} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

2.2.2 추측항법에 의한 위치추정

지능 휠체어의 움직임을 제어하기 위해서는 구동륜의 회전정보를 알 필요가 있다. 식 (2.1)에서 좌·우 차륜의 회전각속도를 Encoder로부터 계측 가능하다면 그 누적계산에 의해 그림 2.2의 (b)와 같은 X-Y 2차원 평면상의 원점 0에서 출발한 지능 휠체어의 t초 후의 위치 (x, y, θ) 는 다음 식과 같이 결정되어진다.

$$x(t) = \int_0^t V(t) \cos(\theta(t)) dt \quad (2.3)$$

$$y(t) = \int_0^t V(t) \sin(\theta(t)) dt \quad (2.4)$$

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(t) dt \quad (2.5)$$

이러한 추측방법은 단구간에서의 정확성, 저 비용, 계산의 용이성으로 인해 지능 휠체어와 기구학적 구조가 유사한 차륜형 이동로봇 분야에서 가장 일반적으로 이용되는 위치추정 방법이다[12].

그림 2.3은 지능 휠체어의 방위제어를 위해 식 (2.1)과 식 (2.2)를 이용하여 구성한 PWS 제어시스템의 블록선도를 나타낸다.

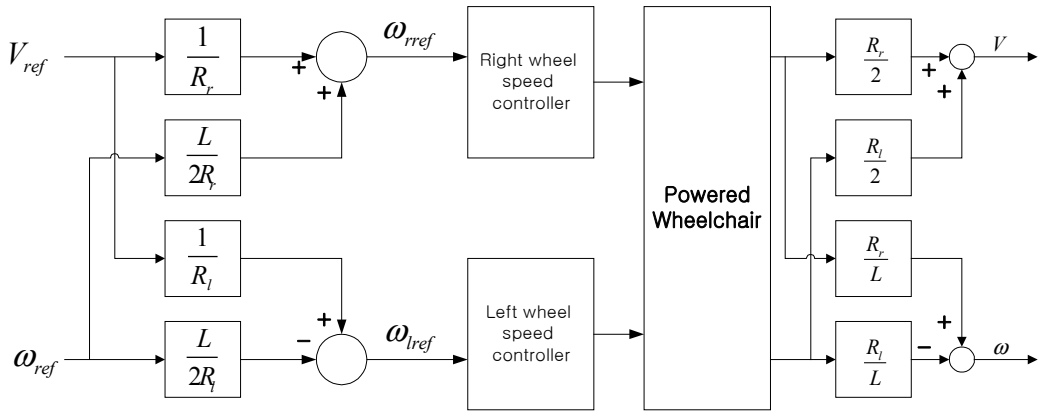


그림 2.3 PWS 제어시스템의 블록선도

Fig. 2.3 Block diagram of the PWS control system

제 3 장 표적 추적 시스템

3.1 시스템의 구성

표적 추적 시스템은 크게 환경에 대한 거리 및 방위정보의 획득을 위한 적외선 레인지파인더와 영상정보 획득을 위한 CCD 카메라로 구성된다. 휠체어의 자세와 추종하고자 하는 표적의 위치가 실시간적으로 변화하기 때문에 표적이 CCD 카메라의 측정범위를 벗어날 염려가 있다. 따라서 본 연구에 이용된 CCD 카메라는 지향각의 중심에 표적이 위치하도록 지향방향을 제어할 수 있는 구조로 되어 있다. 또한 본 논문에서는 지능 휠체어의 추적대상을 인간으로 간주하였고 적외선 레인지파인더의 스캔영역은 인체의 하반신을 피하여 허리부분에 오도록 위치시켰다. 그림 3.1은 제안된 표적 추적 시스템의 전체적인 구조를 나타내고 있다.

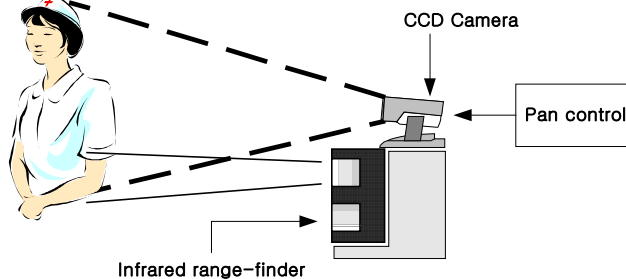


그림 3.1 표적 추적 시스템의 구조

Fig. 3.1 Structure of the target tracking system

3.1.1 적외선 레인지파인더 센서

본 연구를 위해 사용된 적외선 레인지파인더는 HOKUYO사의 PB9-01로 그 외형을 사진 3.1에 나타낸다. PB9-01은 크기가 $70 \times 60 \times 120\text{mm}$ 로 비교적 작고 무게가 가벼우므로 지능 휠체어에 쉽게 장착이 가능하며 신호 발생원으로 적외선 광을 사용하기 때문에 주로 실내환경 인식용으로 사용되어 질 수 있다. 또한 PB9-01은 단일 센서로 비교적 넓은 범위에 걸쳐서 장애물에 대한 각도와 거리정보를 동시에 획득할 수 있으므로 저비용의 환경 인식 시스템의 구성에 적합하다.



사진 3.1 적외선 레인지파인더 PB9-01

Photo. 3.1 Infrared range-finder PB9-01

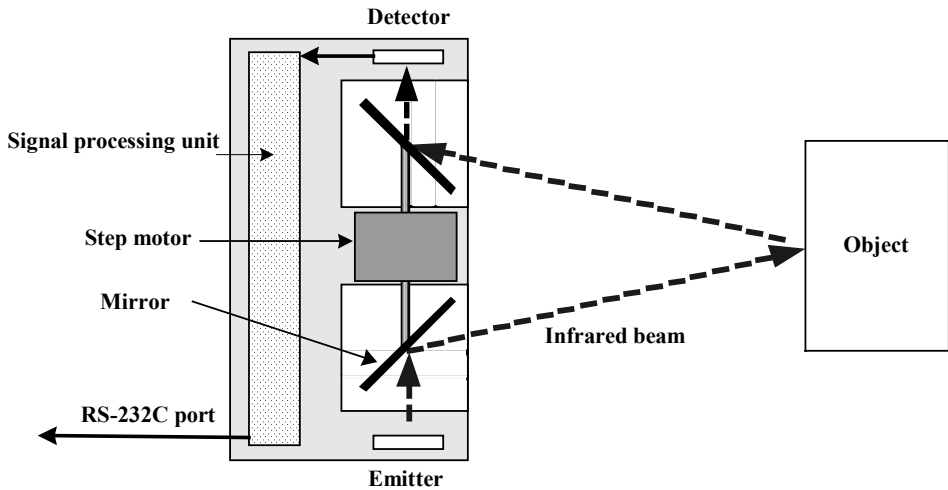


그림 3.2 PB9-01의 구조

Fig. 3.2 Structure of PB9-01

센서의 내부 구조는 그림 3.2와 같으며 적외선 광의 발광부 및 수광부, 반사경 회전모터 구동부, 신호처리부로 구성되어 있다. 스텝모터의 구동축에는 두개의 반사경이 고정되어 있으며 각각의 반사경 상단과 하단에는 발광을 위한 적외선 LED와 수광을 위한 Photo-detector가 고정되어 있다. 이러한 구조로서 적외선 LED에 의해 870nm의 파장으로 발광되는 적외선 광은 반사경을 통해 외부로 전달된다. 또한 물체에 의해 반사된 적외선 광은 수광부의 반사경을 거쳐 Photo-detector로 전달되며 센서의 출력은 신호처리부에 의해 각 방위각에서의 거리값으로 변환된다. 이때 센서의 계측 방향은 스텝모터의 회전에 의한 두 반사경의 방향에 의해 결정되며 모터는 매 160ms마다 162°의 방위각에 대해 91스텝으로 좌·우로 회전하게 된다. 표 3.1은 PB9-01의 주요사양을 나타내고 있다.

표 3.1 PB9-01의 사양

Table 3.1 Specifications of PB9-01

Item	Details
Power source	DC 24V
Response time	160ms
Detection distance	10 to 300 cm
Scanning angle	162°
Interface	RS-232C
Weight	500g

3.1.2 CCD 카메라

환경 인식용으로서 CCD 카메라를 이용하는 경우, 단일 카메라로는 정확한 표적의 각도와 거리정보를 구하기 어렵고 실시간 처리를 위해서 별도의 프로세스가 요구된다는 단점이 있으나 표적의 색상이나 명암, 또는 형태정보를 이용할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구를 위해 사용되는 CCD 카메라는 CANON사의 VC-C4로 그 외형은 사진 3.2와 같으며 100×112×89.5mm로 비교적 크기가 작고 무게가 가벼우므로 지능 휠체어에 쉽게 장착이 가능하다. VC-C4는 NTSC와 PAL 방식을 모두 지원하며 전원으로 DC 13V를 사용한다. 또한 내장된 서보모터에 의해 좌·우 방향에 대하여 각각 90°의 회전범위를 가진다. 표 3.2는 VC-C4의 주요사양을 나타낸다.

표 3.2 VC-C4의 사양

Table 3.2 Specifications of VC-C4

Item	Details
Power source	DC 13V
Video Signal	NTSC and PAL
Operating Environment	Temp.:0°C to 40°C; Humidity:20%-85%
Installation Angle	±20° from horizontal
Dimensions	100*112*89.5mm(W*D*H)
Weight	375g

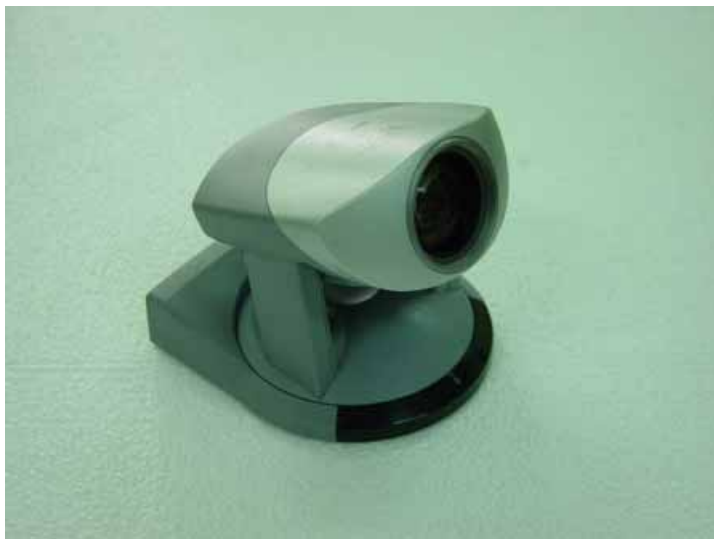


사진 3.2 CCD 카메라 VC-C4

Photo. 3.2 CCD Camera VC-C4

3.2 표적 추적 알고리즘

3.2.1 적외선 레인지파인더를 이용한 표적의 인식

1) 환경정보의 획득

PB9-01 적외선 레인지파인더로부터 얻을 수 있는 정보는 센서 모듈 중앙에서부터 물체까지의 거리와 데이터의 순서정보이다. 그림 3.3은 적외선 레인지파인더로부터 얻어진 임의의 $i(i=0, 1, \dots, 90)$ 번째 데이터의 순서와 거리정보로부터 2차원 평면상에 있는 표적의 위치정보를 산출하는 원리를 도시화한 것이다. 여기서 l 은 센서 중심에서 물체까지의 거리를 나타낸다. 또한 θ 는 적외선 레인지파인더로 검출 가능한 전영역의 각도 성분을 나타내며 θ_0 는 센서 모듈의 중심축(C)과 직교하는 기준면(S)으로부터 $i=0$ 번째 데이터까지의 각도를 나타낸다. 따라서 i 번째 데이터의 각도 θ_i 는 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

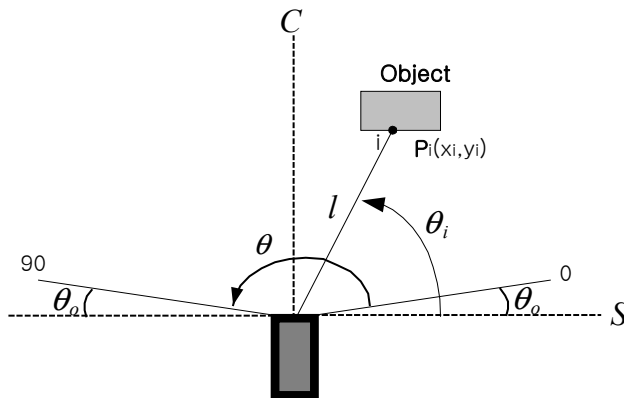


그림 3.3 적외선 레인지파인더의 탐색거리 및 방위

Fig. 3.3 Scanning distance and direction of infrared range-finder

$$\theta_i = \theta_o + i \times \left(\frac{\theta}{91}\right) \quad (3.1)$$

식 (3.1)을 이용하면 i 번째 데이터로부터 X-Y 2차원 평면에서 표적의 좌표 $\mathbf{P}_i = (x_i, y_i)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_i = l_i \times \cos \theta_i \quad (3.2)$$

$$y_i = l_i \times \sin \theta_i$$

이러한 좌표변환 식을 이용하여 사진 3.3과 같은 환경이 주어졌을 경우 적외선 레인지파인더 데이터의 각도 및 거리정보를 X-Y 2차원 평면상에 변환하여 나타내면 그림 3.4와 같다.



사진 3.3 적외선 레인지파인더의 실험 환경

Photo. 3.3 Experimental environment of infrared range-finder

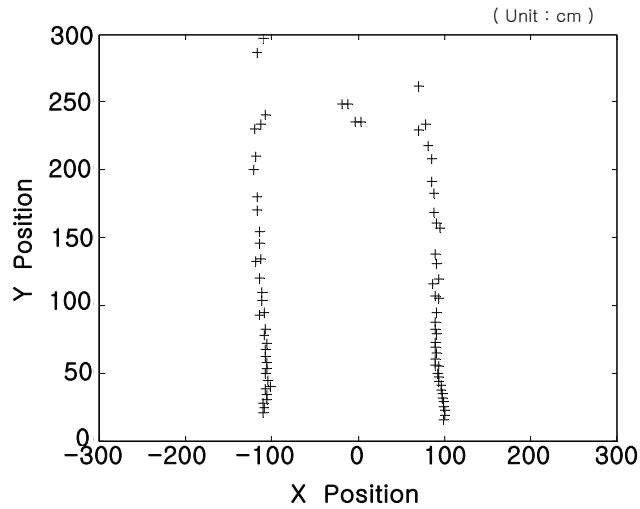


그림 3.4 적외선 레인지파인더 데이터

Fig. 3.4 Infrared range-finder data

2) 집단화

그림 3.4에 표시된 데이터들 중 연속되는 두 데이터를 각각 P_i , P_{i+1} 이라 하면 이들간의 거리는

$$D = \|P_{i+1} - P_i\| \quad (3.3)$$

이다. 여기서 두 데이터간의 거리(D)를 검사함으로써 전체 데이터들은 몇 개의 집단으로 나타낼 수 있다. 집단화 과정은 $i=0$ 에서 시작하여 P_i 와 P_{i+1} 사이의 거리가 임계치(D_{th})보다 작으면 P_i 와 P_{i+1} 은 같은 집단을 형성하고 두 데이터간의 거리가 임계치보다 크면 P_i 와 P_{i+1} 은 각각 다른 집단에 속하게 되며 P_{i+1} 은 새로운 집단의 시작점이 된다. 이러한 과정을 $i=90$ 번째 데이터까지 반복하여 적외선 레인지파인더의

전체 데이터를 집단화 할 수 있다. 그림 3.5는 그림 3.4의 데이터에 $D_{th} = 30(Cm)$ 를 적용하여 집단화한 것이다. 데이터들은 [+ , o, ▽, •]로 표시된 4개의 집단으로 분류 되었으며, ‘ □ ’ 는 같은 집단에 소속된 데이터들의 좌표의 평균

$$\mathbf{m} = (m_x, m_y) = \left(\frac{\sum x_k}{n}, \frac{\sum y_k}{n} \right) \quad (3.4)$$

을 나타낸다. 식 (3.4)에서 x_k, y_k 는 집단내의 k 번째 데이터의 x 와 y 좌표를 나타내며 n 은 집단에 소속된 데이터의 전체 개수이다. 또한 집단의 방위각 θ_m 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_m = \tan^{-1} \left(\frac{m_y}{m_x} \right) \quad (3.5)$$

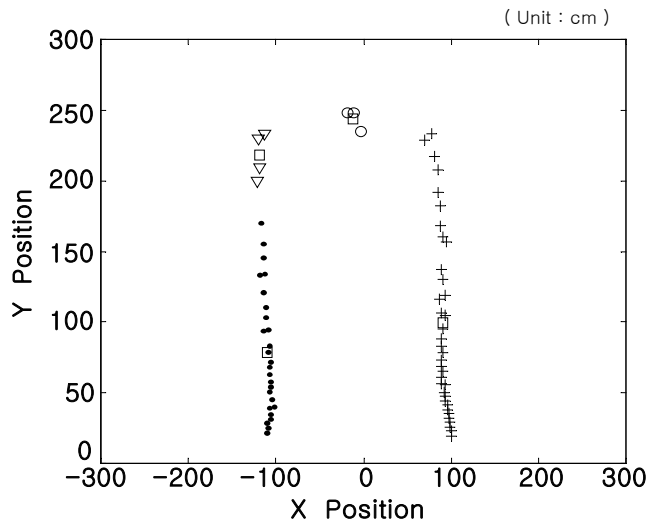


그림 3.5 집단화 된 데이터

Fig. 3.5 Clustered data

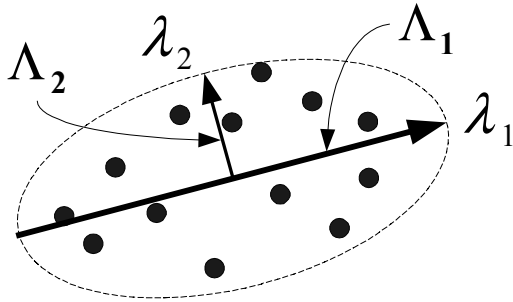


그림 3.6 고유치와 고유벡터

Fig. 3.6 Eigenvalues and eigenvectors

3) 표적의 결정

집단화 과정에 의해 형성된 임의의 한 집단이 그림 3.6과 같은 분포를 나타낸다면 공분산 행렬 C_i 는 식 (3.6)과 같다.

$$C_i = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

여기서 σ_x^2 , σ_y^2 , σ_{xy} 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 &= \frac{\sum x_k^2}{n} - m_x^2 \\ \sigma_y^2 &= \frac{\sum y_k^2}{n} - m_y^2 \\ \sigma_{xy} &= \frac{\sum x_k y_k}{n} - m_x m_y \end{aligned} \quad (3.7)$$

그림 3.6의 Λ_1 과 Λ_2 는 공분산 행렬의 고유벡터를 나타내며 λ_1 과 λ_2 는 고유치로서 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}}{2} \quad (3.8) \text{ (a)}$$

$$\lambda_2 = \frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}}{2} \quad (3.8) \text{ (b)}$$

식 (3.8)에 의해 $\lambda_1 > \lambda_2$ 이므로 λ_1 은 집단의 장경(폭)이라 할 수 있다. 따라서 추적하고자 하는 표적의 폭을 알고 있다면 표적의 폭과 λ_1 의 값을 비교함으로써 적외선 레인지파인더의 데이터로부터 표적 후보군을 생성할 수 있다. 이때 생성된 표적 후보들은 각 후보의 장경($w_m = \lambda_1$), 방위각(θ_m), 거리(d_m)를 파라미터로 하여 나타내어 질 수 있다. 그림 3.7은 이러한 과정을 통하여 그림 3.5의 집단들 중에서 표적으로 설정한 사람과 유사한 크기의 집단만을 표시한 것이다.

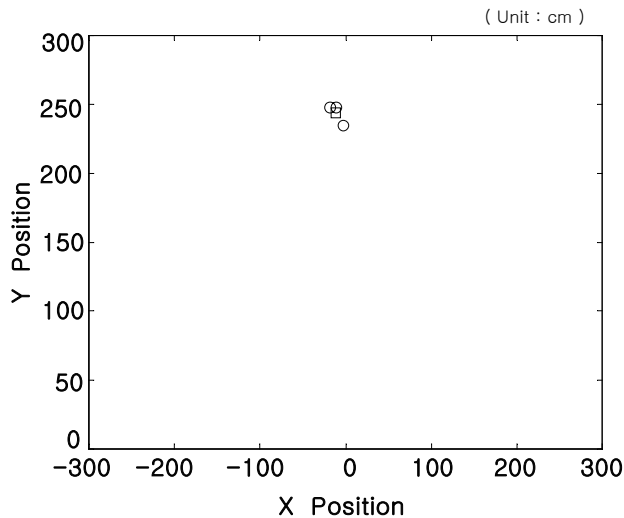


그림 3.7 집단화된 표적 영역

Fig. 3.7 Clustered target region

3.2.2 CCD 카메라를 이용한 표적의 인식

1) 표적영상의 획득 과정

사진 3.4는 CCD 카메라에 입력되는 그레이영상으로부터 표적영상을 획득하는 과정을 나타낸다. 최초에 표적영상을 획득하기 위하여 우선 (a)와 같은 입력영상내에 표적 영역의 한 지점을 지정하도록 하였다. 또한 배경으로부터 지정된 표적의 영역을 추출하기 위한 방법으로 지정된 픽셀의 명암도를 기준으로 임계치를 결정하여 임계치 이상의 명암도 영역은 제거하도록 하였다. (b)는 (a)의 입력영상에 실험에 의해 결정된 임계치를 적용하여 배경으로부터 노이즈를 포함한 표적영상의 부분을 분리하여 나타낸 것이다. (c)는 (b)를 이진화한 영상이며 (d)는 이진화된 영상을 라벨링 처리를 통하여 (a)에서 지정한 표적 영역만을 구하여 나타낸 것이다.

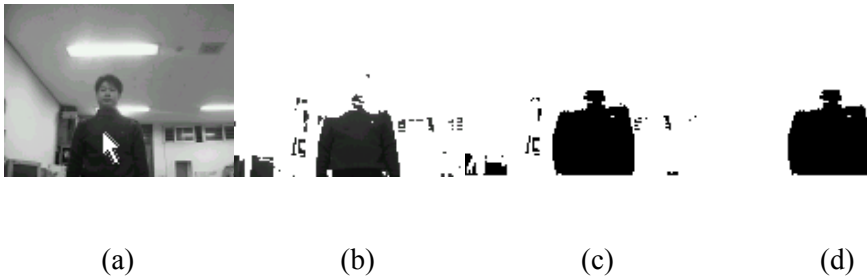


사진 3.4 표적영상의 획득과정

Photo. 3.4 Acquisition process of target image

2) 특징 파라미터

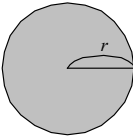
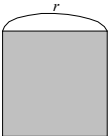
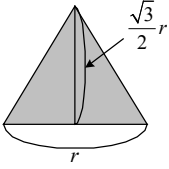
표적영상의 획득 과정을 통하여 얻어진 표적영상은 표적의 형상을 나타내는 특징 파라미터로서 기술되어지며, 이 값은 입력영상에서 표적을 추출하는데 이용되어 진다. 본 논문에서는 표적의 특징을 나타내기 위한 파라미터로 표적의 명암도, 면적, 원주길이 그리고 원형도를 사용하였다. 물체의 면적을 Size라 하고 원주길이를 Circumference라 할 때 원형도는 식 (3.9)와 같다.

$$\text{Roundness} = \frac{4 \times \pi \times \text{Size}}{\text{Circumference}^2} \quad (3.9)$$

표 3.3은 대표적인 물체의 형상과 그 특징 파라미터의 관계를 나타낸다[13].

표 3.3 물체의 형상과 특징 파라미터

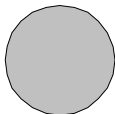

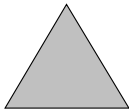

Table 3.3 Shape of object and characteristic parameter

Kind	Circle	Square	Regular Triangle
Object			
Size	πr^2	r^2	$\frac{\sqrt{3}}{2} r^2$
Circumference	$2\pi r$	$4r$	$3r$
Roundness	1.00	$\frac{\pi}{4} = 0.79$	$\frac{\pi\sqrt{3}}{9} = 0.60$

물체의 형상과 특징 파라미터의 관계를 확인하는 실험에서는 명암도를 256 단계로 설정하고 면적은 물체를 이루는 영역내의 전체 화소수로 하였다. 원주길이는 물체의 윤곽선을 이루는 화소수를 계산하였으며 이웃한 화소간의 거리는 1로 하였다. 그러나 이웃한 화소가 대각선 방향으로 연결된 경우는 거리를 $\sqrt{2}$ 로 하였다. 표 3.4는 실험에 의한 특징 파라미터의 실제 계측값을 나타낸다. 결과로부터 실측된 각 형상의 원형도가 표 3.3에 나타난 계산상의 원형도에 근사함을 알 수 있으며, 사람의 상반신 형상의 경우는 약 0.434의 원형도를 형성함을 알 수 있다.

표 3.4 특징 파라미터의 계측값

Table 3.4 Measured values of characteristic parameters

Kind	Circle	Square	Regular Triangle	Human
Object				
Size	1654	1149	742	558
Circumference	146.124	138.727	120.001	127.054
Roundness	0.972	0.750	0.648	0.434

3) 적합도 평가

임의의 i 번째 영상에서의 표적영상의 추출은 입력영상의 전처리 과정에 의해 라벨링된 물체들의 특징 파라미터와 표적의 특징 파라미터 사이

의 적합도를 조사함으로써 표적과 가장 유사한 물체를 추출할 수 있다. 이때 적합도는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$\text{Fitness} = \alpha e_{size} + \beta e_{gr} + \gamma e_c + \delta e_r \quad (3.11)$$

여기서 e_{size} , e_r , e_{gr} , e_c 는 각각의 라벨영역에 대하여 면적, 원형도, 명암도, 원주의 상대 오차로서 다음과 같이 주어지며

$$\begin{aligned} e_{size} &= \frac{|T_s - O_s|}{T_s} \\ e_r &= \frac{|T_r - O_r|}{T_r} \\ e_{gr} &= \frac{|T_{gr} - O_{gr}|}{T_{gr}} \\ e_c &= \frac{|T_c - O_c|}{T_c} \end{aligned} \quad (3.10)$$

α , β , γ , δ 는 각각 상대 오차에 대한 가중치로서 [0.3, 0.2, 0.2, 0.3]의 값을 실험을 통하여 결정하였다. 이때 적합도가 0이면 물체와 표적이 완전히 일치하는 것이 된다.

표적 추적에 있어서 표적의 크기와 외형의 변화는 표적의 특징 파라미터를 변화시킨다. 따라서 지속적인 표적 추적을 위해서는 표적의 특징 파라미터의 지속적인 업데이트가 요구되어진다. 본 논문에서는 임의의 i 번째 영상의 표적의 특징 파라미터로 $i-1$ 번째 영상에서 획득한 표적의 특징 파라미터를 이용하였다. 그림 3.8은 표적 결정 과정의 흐름도를 나타낸다.

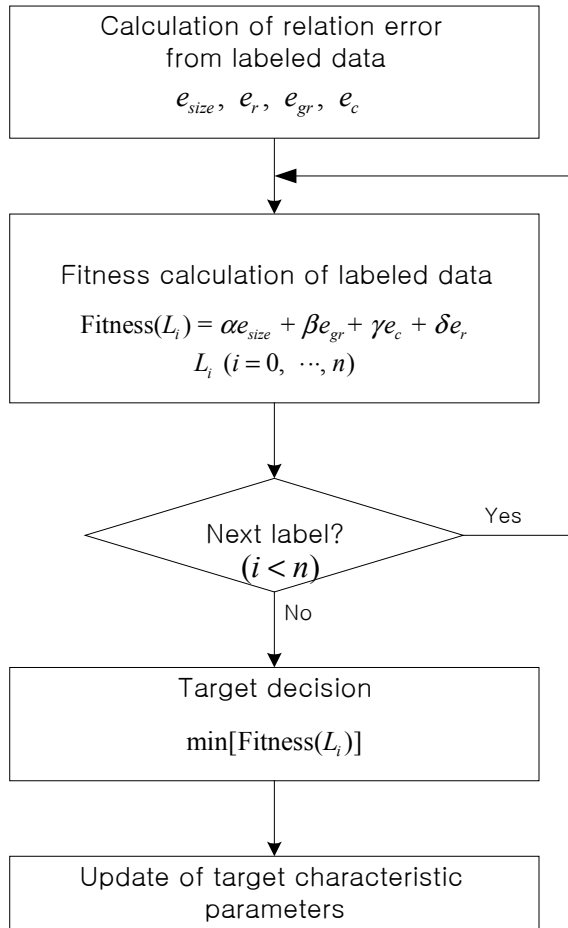


그림 3.8 적합도 평가 과정의 흐름도

Fig. 3.8 Flowchart of fitness estimation process

4) 표적의 방위각 및 폭 추정

영상정보를 이용한 표적의 방위각 추정은 CCD 카메라의 수평 방향 회전각(ϕ_c)과 표적 중심의 위치를 이용하여 계산할 수 있다. 그림 3.9는 입력영상으로부터 표적의 방위각을 추정하는 원리를 나타낸 것이다. CCD 카메라의 수평 방향 검출 범위가 40° 이므로 표적영상의 수평 해상도가 N 이면 각 화소 당 각도 성분은 $40^\circ/N$ 이 된다. 이때 ϕ_c 가 입력영상의 중심 화소 P_c 에 대한 각도를 나타내므로 표적 중심 위치가 P_{tc} 일 때 표적의 방위각 ϕ_t 는 식 (3.12)와 같이 추정 할 수 있다.

$$\phi_t = (P_c - P_{tc}) \times \frac{40^\circ}{N} + \phi_c \quad (3.12)$$

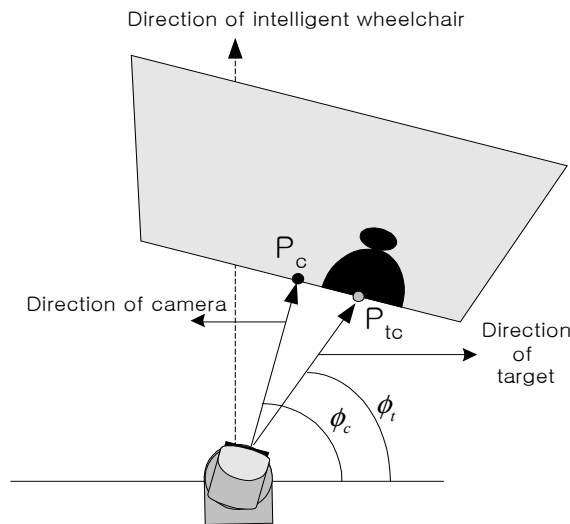


그림 3.9 표적의 방위각 추정

Fig. 3.9 Azimuth angle estimation of target

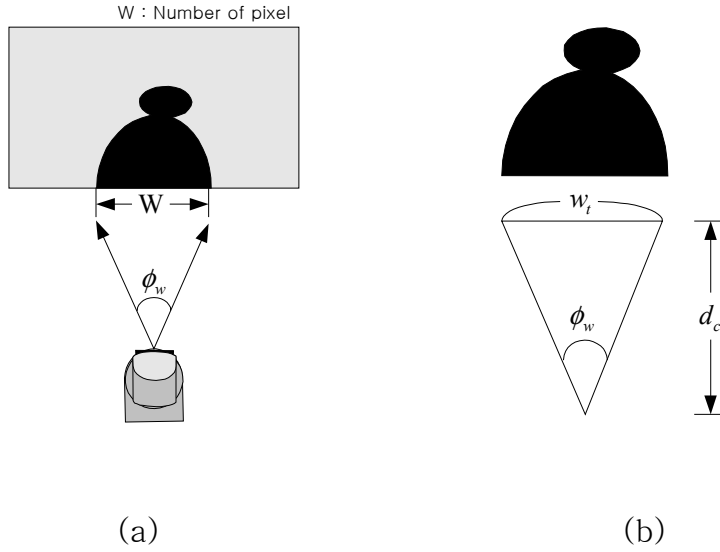


그림 3.10 표적의 폭 추정 원리

Fig. 3.10 Concept to estimate the width of a target

또한 영상정보를 이용한 표적의 폭 추정은 표적의 폭에 해당하는 화소의 수 W 와 적외선 레인지파인더로부터 얻어진 표적까지의 거리 d_c 를 이용하여 계산할 수 있다. 그림 3.10의 (a)에서 ϕ_w 는

$$\phi_w = \frac{40^\circ}{N} \times W \quad (3.13)$$

로 계산되어지며, (b)에 나타난 표적의 실제 폭(w_t)은 ϕ_w 와 d_c 를 이용하여 식 (3.14)로 추정할 수 있다.

$$w_t = 2 \times d_c \times \tan\left(\frac{\phi_w}{2}\right) \quad (3.14)$$

따라서 표적은 폭(w_t), 방위각(ϕ_t)을 파라미터로 하여 나타낼 수 있다.

3.2.3 센서 데이터 융합을 이용한 추적

표적 인식을 위해 우선 적외선 레인지파인더는 거리(d_m), 폭(w_m), 방위각(θ_m)의 정보를 가지는 다수의 표적 후보를 생성한다. 또한 CCD 카메라는 폭(w_t)과 방위각(ϕ_t) 정보를 가지는 단일의 표적 후보를 생성한다. 이러한 표적 후보들의 정보로부터 단일 표적의 결정은 CCD 카메라를 이용한 방법에 의해 생성된 표적 후보와 적외선 레인지파인더를 이용한 방법에 의해 생성된 각각의 후보들에 대하여 방위각 오차(θ_e) 및 폭의 오차(w_e)

$$w_e = |w_m - w_t| \quad (3.15)$$

$$\theta_e = |\theta_m - \phi_t| \quad (3.16)$$

를 계산하고 다음의 식

$$F = \alpha_i w_e + \beta_i \theta_e \quad (3.17)$$

에 의하여 적합도 F 가 최소가 되는 표적 후보를 선택하므로써 이루어진다. 이때 각 오차의 가중치 $\alpha_i = 0.5$ 와 $\beta_i = 0.5$ 는 실험에 의해 결정된 값이며, 결정된 단일 표적의 방위각 및 거리는 적외선 레인지파인더를 이용하여 계산되어진 방위각 및 거리이다. 그림 3.11은 센서 데이터 입력으로부터 표적 추적을 위해 필요한 표적의 거리 및 방위각 정보를 형성하여 표적을 추적하는 과정의 알고리즘을 나타낸 흐름도이다.

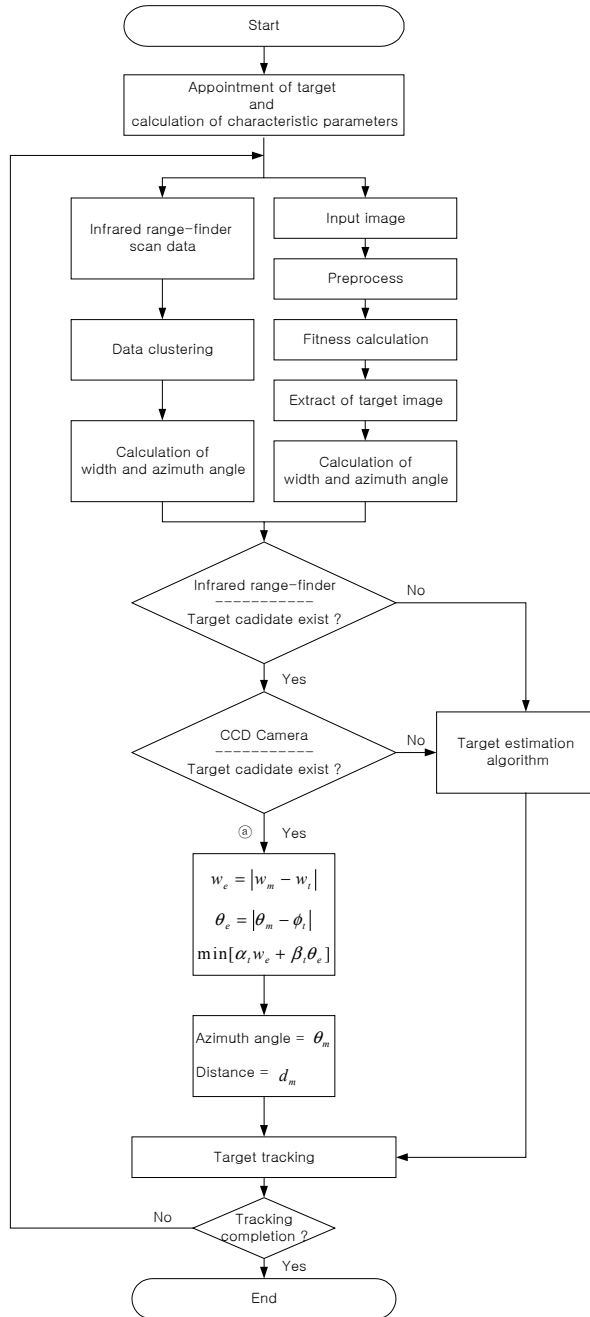


그림 3.11 표적 추적 알고리즘의 흐름도

Fig. 3.11 Flowchart of the target tracking algorithm

한편, 제안된 표적 추적 시스템에 있어서 센서의 물리적인 특성에 기인한 표적 인식의 불확실성으로 인하여 표적 후보를 생성하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 표 3.5는 표적 인식에 있어서 치명적인 오류를 유발할 수 있는 상황을 나타낸 것이다.

표 3.5 표적 후보를 생성하지 못하는 상황

Table. 3.5 Situation that do not create target candidate

	적외선 레인지파인더를 이용한 표적의 인식 방법	CCD 카메라를 이용한 표적의 인식 방법
상황1	표적이 다른 구조물에 근접하여 표적후보가 존재하지 않는 경우	조도의 순간적 변화로 표적 형상을 상실한 경우
상황2	표적 후보를 생성 하였으나 실제 표적은 다른 구조물과 함께 집단화 된 경우	주위 환경과 표적의 명암도가 유사하여 표적 형상이 왜곡된 경우

이러한 상황에서는 식 (3.17)을 이용한 단일 표적의 결정은 불가능하므로 추가적인 대안이 필요하다. 본 논문에서는 이와 같은 상황들이 발생한 경우에 대한 표적 결정에 있어서 다음의 3가지 조건을 고려하였다.

첫째. CCD 카메라를 이용한 방법으로만 표적 후보를 생성 하였을 때.

둘째. 적외선 레인지파인더를 이용한 방법으로만 표적 후보를 생성 하였을 때.

셋째. 적외선 레인지파인더를 이용한 방법과 CCD 카메라를 이용한 방법 모두를 이용하여 표적 후보를 생성하지 못하였을 때.

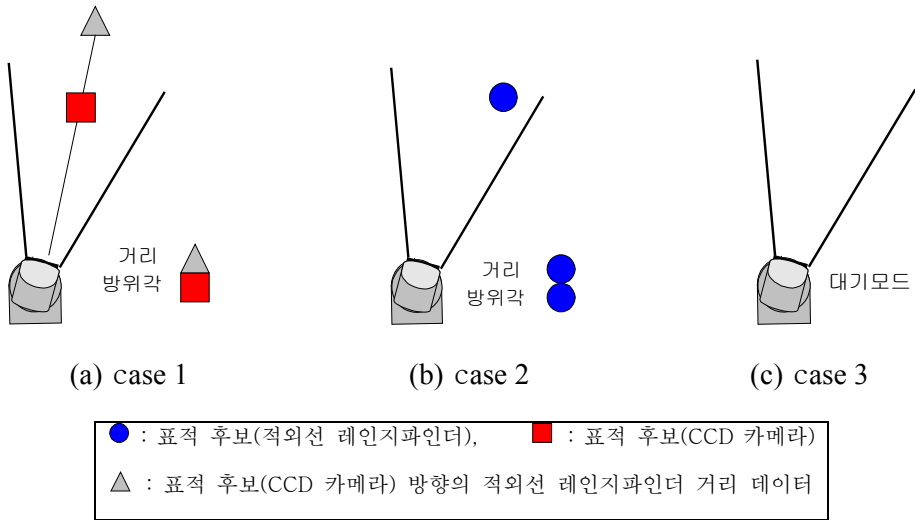


그림 3.12 표적 정보의 생성 방법

Fig. 3.12 Creation method of target information

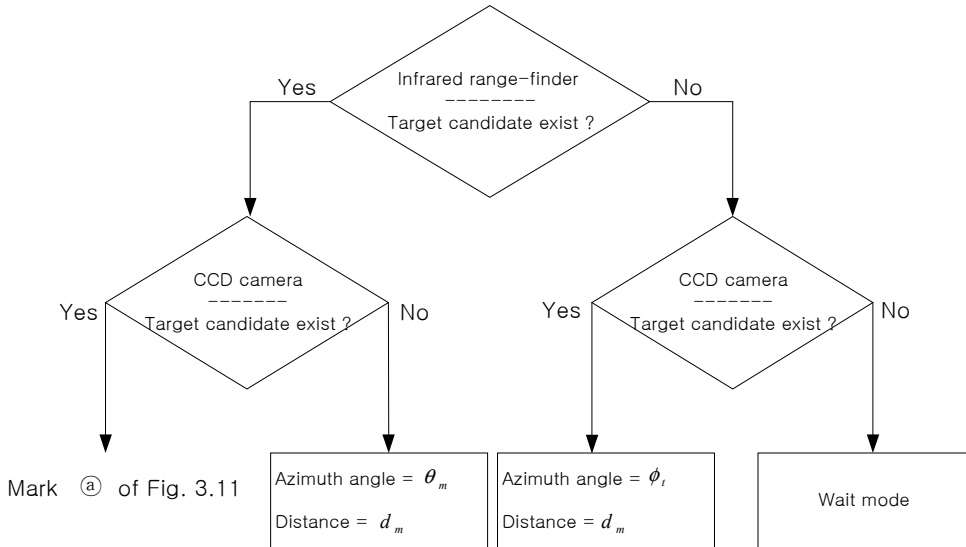


그림 3.13 표적 추정 알고리즘의 흐름도

Fig. 3.13 Flowchart of target estimation algorithm

그림 3.12은 이와 같은 3가지 경우에 있어서 표적 추적을 위한 표적의 방위각 및 거리정보를 생성하는 방법을 나타낸다. (a)는 표적이 다른 구조물에 근접하여 적외선 레인지파인더를 이용한 방법에서 표적 후보를 생성하지 못한 경우로 CCD 카메라를 이용한 방법에 의해 결정된 방위각과 이에 해당되는 방향의 적외선 레인지파인더의 거리 데이터를 이용하여 표적의 방위각 및 거리정보를 생성한다. (b)는 조도의 순간적인 변화나 주위 환경의 영향으로 인하여 CCD 카메라를 이용한 방법에서 표적 후보를 생성하지 못한 경우로 적외선 레인지파인더를 이용한 방법에서 결정된 방위각과 거리 데이터를 이용하여 표적의 방위각 및 거리정보를 생성한다. (c)는 두 가지 방법이 모두 표적 후보를 생성하지 못한 경우로 표적을 재설정 하기 위한 대기 상태로 전환된다. 그림 3.13은 각 경우에 있어서 표적의 방위각 및 거리정보를 생성하는 알고리즘을 나타내며 그림 3.11의 Target estimation algorithm에 해당된다.

제 4 장 실험 및 고찰

4.1 실험 환경

그림 4.1은 표적 추적 실험을 위한 환경을 나타낸다. A에는 센서의 광반사 노이즈를 유발시킬 가능성이 있는 철재 캐비닛이 위치하고 있으며, B와 C에는 불규칙한 모양을 가지는 물건들이 위치해 있다. 실험은 2회에 걸쳐서 실시 되었으며 실험1과 실험2에서 표적이 이동한 궤적은 각각 점선과 실선으로 나타내었다.

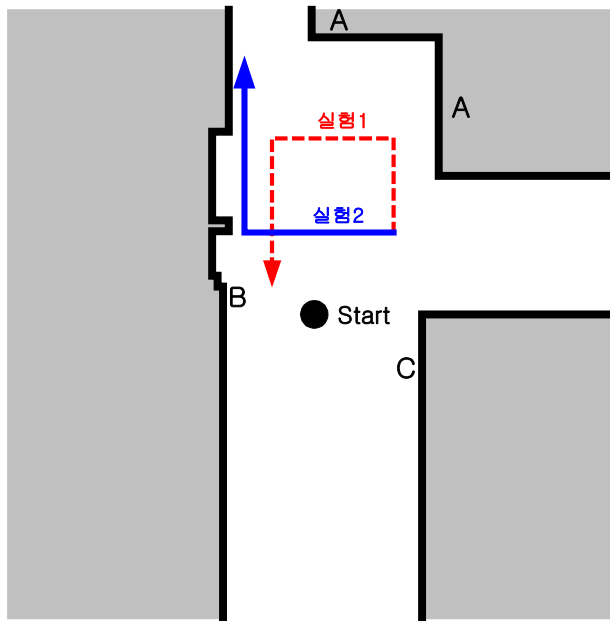


그림 4.1 표적 추적을 위한 실험환경

Fig. 4.1 Experimental environment for target tracking

4.2 실험 결과

그림 4.2 ~ 4.5는 그림 4.1의 점선과 같은 궤적으로 표적이 이동할 때 표적을 추적한 실험 결과를 나타낸 것이다. 각각의 그림은 표적을 추적하는 전체 과정의 매 1/4 시점의 상태를 나타낸다. 여기서 지능 휠체어는 오각형으로 표현되고 표적은 원형의 점으로 표현된다. 실선으로 연결된 +마크는 적외선 레인지파인더의 각 방위각에 대한 입력 데이터를 나타낸다. 또한 사진 4.1은 CCD 카메라를 이용하여 표적의 추적을 실행하는 과정을 나타낸다. 영상에서 흰색 실선의 교차점은 추정된 표적의 중심 좌표를 나낸다. 표적 주위에 존재하는 유사한 명암도를 가지는 물체에 의해 표적의 중심이 일정하지 않은 현상이 나타나지만 전체적으로 볼 때 지속적으로 표적을 추적함을 알 수 있다.

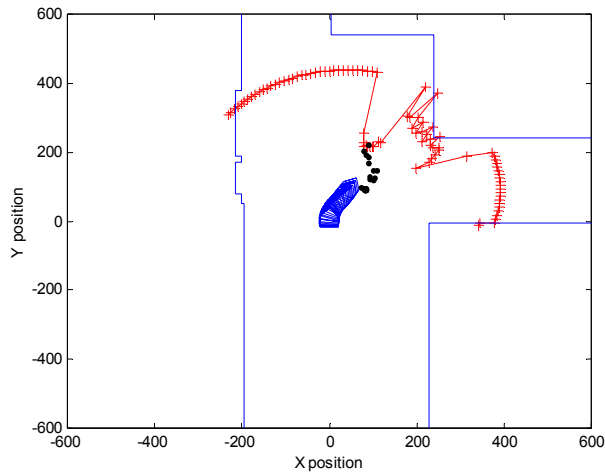


그림 4.2 추적과정의 1/4 경과

Fig. 4.2 1/4 passage of tracking process

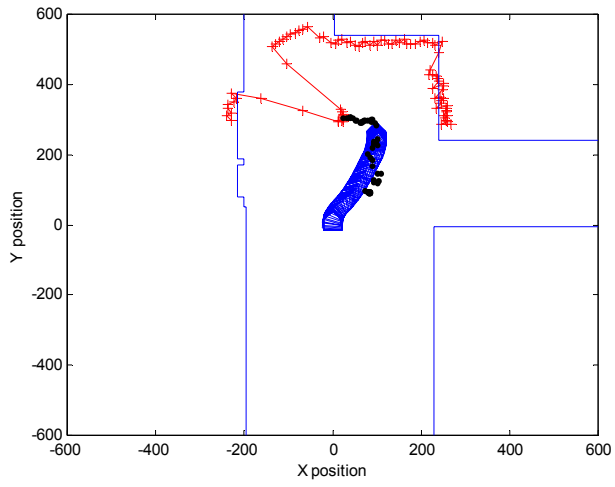


그림 4.3 추적과정의 2/4 경과

Fig. 4.3 2/4 passage of tracking process

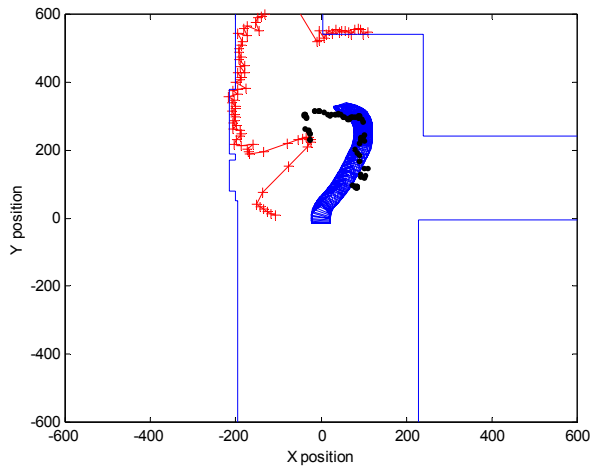


그림 4.4 추적과정의 3/4 경과

Fig. 4.4 3/4 passage of tracking process

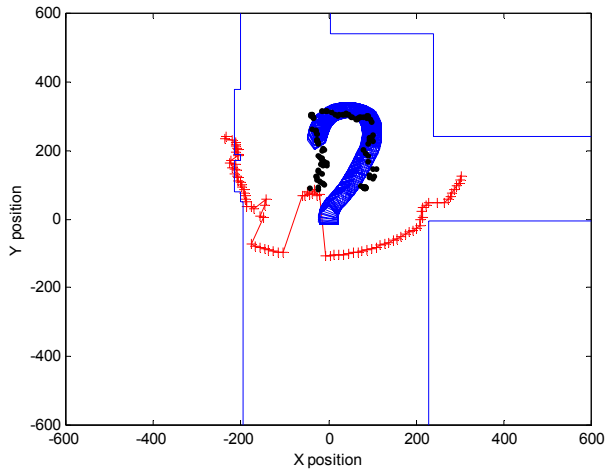


그림 4.5 추적 종료

Fig. 4.5 Tracking completion

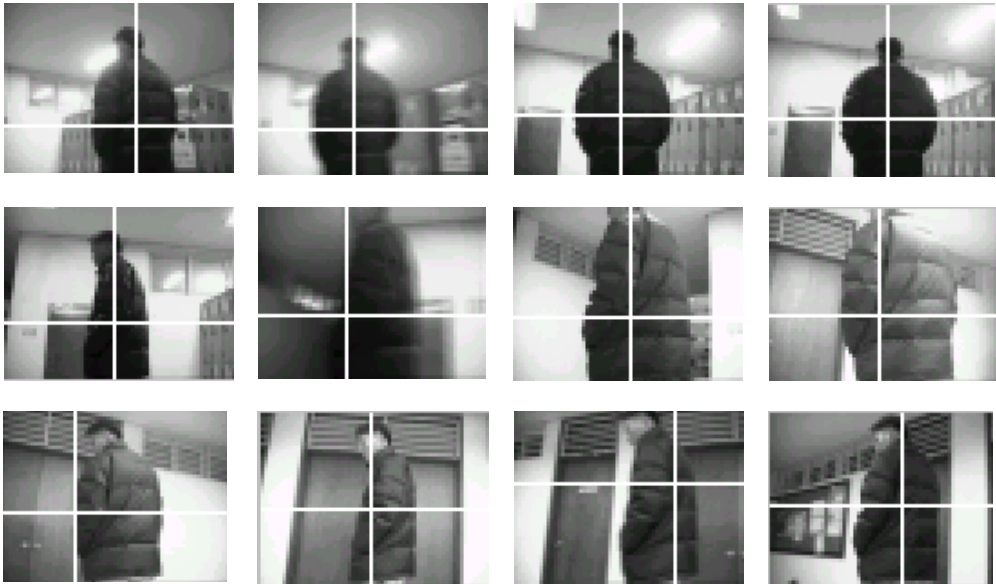


사진 4.1 CCD 카메라의 추적 과정

Photo. 4.1 Tracking process of CCD camera

그림 4.6 ~ 4.9는 표적이 실선과 같이 이동할 때 표적을 추적하는 전체 과정의 매 1/4 시점의 상태를 나타낸 것이다. 사진 4.2는 CCD 카메라를 이용하여 표적의 추적을 실행하는 과정을 나타낸다. 실험 결과로부터 표적이 벽을 따라 이동하는 경우에도 지능 휠체어가 비교적 우수한 추적 성능을 보임을 알 수 있다.

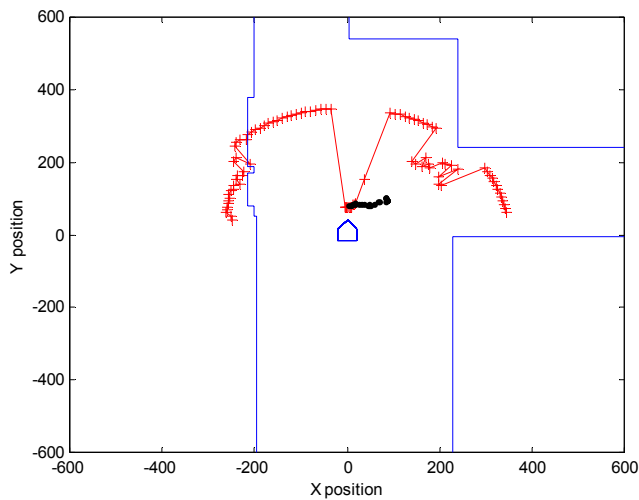


그림 4.6 추적과정의 1/4 경과

Fig. 4.6 1/4 passage of tracking process

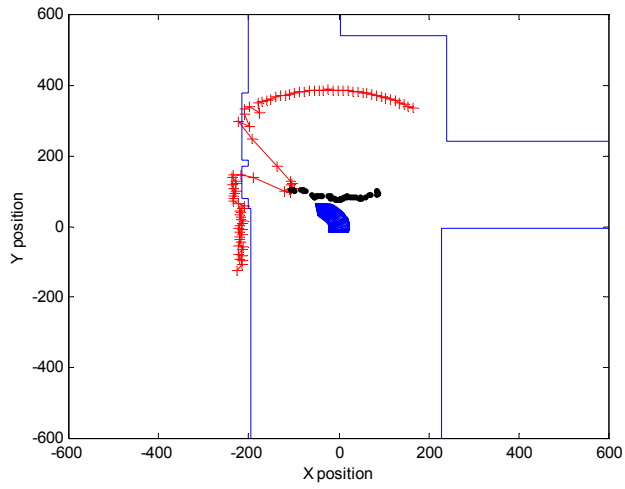


그림 4.7 추적과정의 2/4 경과

Fig. 4.7 2/4 passage of tracking process

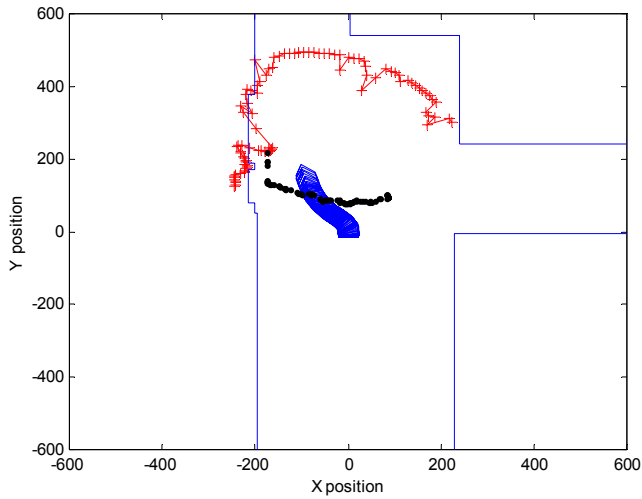


그림 4.8 추적과정의 3/4 경과

Fig. 4.8 3/4 passage of tracking process

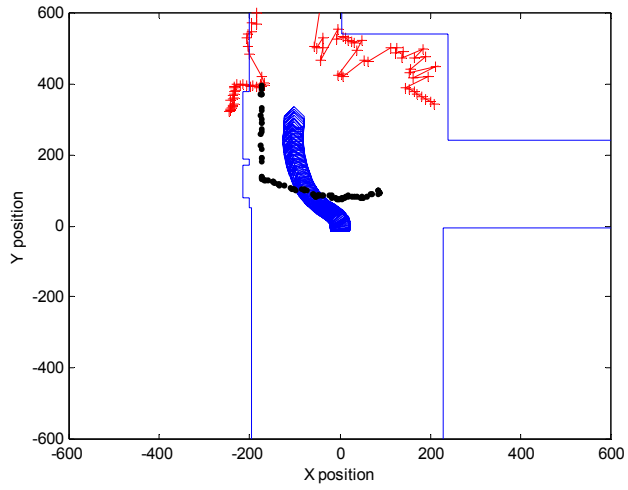


그림 4.9 추적 종료

Fig. 4.9 Tracking completion



사진 4.2 CCD 카메라의 추적 과정

Photo. 4.2 Tracking process of CCD camera

제 5 장 결론

본 논문에서는 적외선 레인지파인더와 CCD 카메라를 이용한 저비용의 표적 추적 시스템을 제안하였다. 또한 표적 추적을 위하여 적외선 레인지파인더로부터 얻은 이차원 위치정보로부터 표적 후보군을 생성하였고, CCD 영상으로부터 표적의 특징 파라미터를 추출하였다. 이러한 정보를 융합하므로서 표적의 결정에 따른 불확실성과 표적의 위치오차를 최소화하기 위한 알고리즘을 제안하였으며 검증실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 표적이 벽면에 붙어 있는 경우와 같이 적외선 레인지파인더 단독으로 인식이 어려운 환경이나 조도의 변화로 CCD 카메라에 영향을 주는 환경에서도 표적의 인식이 가능하다.

둘째, 적외선 레인지파인더로부터 얻은 2차원(거리, 방위) 정보와 CCD 카메라로부터 얻은 영상정보를 융합하므로서 정확한 표적의 3차원 정보를 얻을수 있어 휠체어의 정확한 표적 추적이 가능하다.

셋째, 표적 인식 및 추적의 실시간성이 보장된다.

따라서 본 논문에서 제안된 표적 추적 시스템은 병원 등의 옥내 환경을 주행하는 지능 휠체어에 있어 장애인들의 주행조작을 최소화 할 수 있는 구체적인 방안으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Tzafestas, *Advances in Intelligent Autonomous Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1999
- [2] S. Blackman and R. Popoli, *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*, Artech House, 1999
- [3] G. Dudek and M. Jenkin, *Computational Principles of Mobile Robotics*, Cambridge University Press, 2000
- [4] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2002
- [5] R. Feris, T. Campos, and R. Cesar, "Detection and Tracking of Facial Features in Video Sequences", *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Vol.1793, pp. 197-206, 2000
- [6] 최진규, "멀티센서 데이터 융합에 의한 지능 휠체어용 위치추정 시스템의 성능개선에 관한 연구", *한국해양대 석사학위논문*, 2000
- [7] 김덕곤, "초음파 센서를 이용한 이동로봇용 환경인식 시스템 개발에 관한 연구", *한국해양대 석사학위논문*, 2001
- [8] Young-D. Kwon and Jin-S. Lee, "A Stochastic Map Building Method for Mobile Robot using 2-D Laser Range finder", *Journal of Autonomous Robots*, Vol.1-18
- [9] M. Abidi and R. Gonzalez, *Data Fusion in Robotics and Machine Intelligence*, Academic Press. Inc, 1992
- [10] Yun-Su Ha and Shin'ichi Yuta, "Trajectory Tracking Control for Navigation of the Inverse Pendulum Type Self-Contained Mobile Robot", *Int. Journal of*

Robotics and Autonomous System, Vol. 17, pp. 65-80, 1996

- [11] Z. Peebles, *Probability, Random Variables, and Random Signal Principles*, McGraw-Hill Inc, 1993
- [12] J. Borenstein, H. Everett, and L. Feng, *Where am I? Sensor and Methods for Mobile Robot Positioning*, The University of Michigan, 1996
- [13] NHK 방송기술연구소, C 언어에 의한 화상처리 실무, 국제테크노정보 연구소, 1994

감사의 글

논문을 마무리 하면서 대학과 대학원 생활을 되돌아 보니 나태했던 시간들이 부끄러움으로 다가옵니다. 부족함이 많은 저를 이끌어 주시고 격려하여 주신 많은 분들께 감사를 드립니다.

먼저 부족함이 많은 저를 넓은 학문의 세계로 인도하여 주시고 인생의 선배로서 세심한 배려와 격려를 해주신 하운수 지도 교수님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 가운데에도 논문을 위해 아낌없는 관심과 열의를 보여주시고 학문의 길을 인도하여 주신 진강규 교수님, 조석재 교수님께 감사를 드립니다. 그리고 학부 과정에서부터 남다른 학문적 열의로 가르침을 주신 김종화 교수님, 유명호 교수님께 감사를 드립니다.

대학원 기간동안 함께 연구에 열중하며 많은 도움을 주시고 모범이 되었던 김현희 선배님, 짧은 기간이나마 같이 생활하며 고민을 나누고 격려를 해주신 종길형과 석신에게도 감사드립니다. 또한 바쁜 회사 생활에도 불구하고 항상 후배들을 걱정하며 용기를 주시고 위로를 아끼지 않으셨던 용욱형, 덕근형, 윤학형 그리고 지금은 일본에서 학문에 열중이신 진규형께 감사를 드립니다.

동고동락 했던 94학번 동기들과 어렵고 힘든 일이 있을 때 언제나 친동생과 같이 보살피 주시던 강근호 선배님과 정근형님, 늘 따뜻한 마음과 밝은 미소로 반겨주었던 김경언 선배님께도 감사드리며, 항상 웃음으로 지켜봐 주신 김영일 선배님과 안강식 선배님께 감사 드립니다.

인생의 반쪽을 잃으시고 수없이 많은 눈물과 근심으로 막내 아들을 걱정하신 어머니, 가족을 위해 끊임 없이 노력하며 동생을 위해 충고와 격려를 아끼지 않으신 형님과 형수님 그리고 언제나 저를 믿어 주시고 많은 관심과 용기를 주신 누나들과 자형들께 감사를 드립니다. 아울러 친구들과 성재, 성진, 혜원, 갓 태어난 조카에게 기쁨을 전합니다.

마지막으로 아버지께 진심으로 깊은 감사를 드립니다.