

스테레오 비전 시스템에서 레이저 포인터를 이용한 표적물까지의 거리 측정

정회원 김수인*, 남궁재찬**

Distance Measurement of Target using LASER Pointer in the Stereo Vision System

Soo In Kim*, Jae Chan Namgung** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 입력 영상에서 목표물을 지정하기 위한 방법으로 레이저(LASER)를 이용하여 목표물을 지정한 후, 스테레오 비전 시스템을 이용하여 지정한 목표물까지의 거리를 측정하기 위한 방법을 제안하였다. 특별히 정의된 목표물을 제외하면 취득한 영상으로부터 목표물을 자동 인식하는 것은 매우 어려운 일이다. 기존의 목표물 지정 방식은 윈도우 기법을 사용하여 취득한 영상을 통해 정의하는 방식을 많이 사용하고 있으나, 본 논문에서는 레이저의 특성을 이용하여 목표물을 지정하도록 하였다. 또한 좌, 우측 카메라에서 입력되는 영상의 특성 차이를 고려하여 적응형 임계값을 적용함으로써 밝기 변화에도 불구하고 목표물 취득 효율을 높이도록 하였다. 취득한 목표물의 양안 영상에 대하여 시차 정보를 구한 후 목표물까지의 거리를 산출하였다. 실험결과 적응형 임계값을 사용함으로써 지정된 목표물의 위치를 인지하는데 매우 효과적이었음을 알 수 있었고, 거리 측정 오차도 평균 2.44(%)로 본 시스템의 유용성을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed the method of designating the target using the LASER as a way to designate the target in an input image, and then measuring the distance to the designated target, using stereo vision system. Except the target specially defined, it is very difficult to automatically identify the target from the image captured. Existing methods of designating target mainly use the method of defining it through the image captured using window technique. But this paper presents to designate the target using the features of LASER. In addition, by applying the adaptation type critical value, given the difference of features of images entered from the left and right camera, this thesis suggests to improve the efficiency of capturing the target despite the changes in brightness. Distance to the target was calculated after obtaining the time difference information on the images of both eyes on the captured target. As a result of experiment, it was found out that it is very effective in identifying the location of designated target, using the adaptation type critical value. The error of distance measurement was 2.44(%) in the average by demonstrating the efficiency of this system.

I. 서론

자율 주행이 가능한 로봇이나, 움직임 추적에 대

한 연구^[1]는 오랫동안 컴퓨터 비전 분야에서 연구되어왔다. 이들의 궁극적인 목표는 인간의 시각 시스템 기능을 컴퓨터로 구현하는데 있다고 볼 수 있을 것이다. 인간의 시각시스템에서 중요한 것은 목표물

* 김포대학 공학부 전자정보계열(sikim@kimpo.ac.kr),
논문번호 : 010213-0804, 접수일자 : 2001년 8월 4일

** 광운대학교 컴퓨터공학과

※ 이 논문은 김포대학의 연구비 지원에 의하여 연구 되었음.

까지의 거리 측정과 취득한 영상의 입체감의 표시라 할 수 있다. 특히 목표물까지의 거리를 감지함으로써 차후의 행동에 대한 의사 결정을 할 수 있으며, 이 같은 특성을 컴퓨터에 도입함에 있어 중요한 것이 거리임을 알 수 있다. 거리를 전자적으로 측정하는데는 음파를 이용하는 방법^[2], 레이저 (LASER, light amplification by stimulated emission of radiation)를 이용하는 방법^[3] 그리고 영상 처리를 이용하는 방법^[4] 등이 있을 수 있으며, 본 논문에서는 레이저와 영상 처리 방법인 스테레오 비전을 이용하여 거리를 측정하고자 하였다. 거리는 한 점에서 다른 점까지의 길이를 나타내는 것으로^{[5][6]} 인간의 양안에 의한 거리 감각은 자신이 위치한 곳으로부터 주시하는 목표물까지의 거리를 경험에 의해 측정하게 된다^{[5][7]}. 이를 컴퓨터에 적용하면 현재의 위치는 파악가능하나 목표물을 찾을 수 없는 문제점이 있다. 즉, 입력 영상에서 이동 물체나, 목표물에 특수한 잉크와 같이 특별히 지정한 목표물을 제외하고는 자동으로 목표물을 인지할 수 없으므로 거리 측정이 불가능하다. 따라서 거리를 측정하기 위해서는 우선적으로 길이를 구하기 위한 두 정점이 필요하게 되며, 상대적 정점을 정의할 필요가 있다. 취득한 영상으로부터 목표물을 지정하는 방법으로는 윈도우 마스크(window mask)를 이용하는 방법이 많이 사용되고 있으나, 이는 영상을 취득한 후 지정하는 문제가 있다.

본 연구에서는 목표물을 지정하기 위한 방법으로 레이저 포인터(pointer)를 사용하였다. 이는 레이저의 특성이 직진성을 갖고, 방향성이 매우 우수하여 퍼짐이 없기 때문에 포인터로서 적합하기 때문이다. 취득한 영상으로부터 목표물 지정 이전 영상과 목표물 지정 후의 영상으로부터 목표물의 위치를 검출하기 위해 두 영상의 차를 이용하게 된다. 스테레오 영상은 좌, 우측 카메라 2대가 필요하며, 동시성을 갖고 영상을 취득하게 된다. 그러나 카메라의 특성상 좌, 우측의 영상 밝기가 동일 할 수 없기 때문에 차 영상에 의한 목표물을 추출하는데 각기 다른 임계값을 설정해야하며, 환경변화에 대해서도 상황에 따라 임계값을 변경 시켜야하는 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 적응형 임계값(adaptive threshold)를 적용하여 카메라의 특성에 따른 임계값과 환경 변화에 따른 영상의 밝기 변화에^[8] 적응적으로 대처하도록 하였다. 이렇게 적응형 임계값을 사용하여 취득한 차 영상을 좌, 우측 카메라에 모두 적용한 후 스테레오 비전 시스템의 시차 정보를 추출하여 목표물까지의 거리를 측정하였다.

사람의 시차 정보를 추출하여 목표물까지의 거리를 측정하였다. 즉 인간의 시각 체계는 서로 다른 위치에서 취득한 두 영상을 적절히 정합 시킴으로서 얻어지는 시차정보를 이용하여 거리 정보^[9] 얻을 수 있다는 사실을 컴퓨터 비전에 적용시킴으로서 원하는 목표물까지의 거리를 측정 할 수 있다^{[7][10]}.

본 논문은 목표물의 지정을 위하여 레이저를 사용하여 지정하는 방식을 제안하였고, 효과적으로 목표물을 추출하기 위하여 적응형 임계값을 설정한 차 영상에 의해 목표물의 위치를 추출하였으며, 스테레오 비전 시스템의 시차 정보와 카메라 특성 변수를 이용하여 목표물까지의 거리를 측정하는 방안을 제시하고자한다.

II. 제안된 시스템의 구성

본 논문에서는 목표물까지의 거리를 측정하기 위하여 목표물을 지정하는 방법, 변화성분의 효과적인 추출 방법, 스테레오 비전 시스템을 이용한 목표물까지의 거리 측정 방법을 제안하였다.

취득한 영상으로부터 목표물을 자동 인식하는 것은 매우 어려운 일이다. 사람의 물체 인식 시스템도 양안에 의해 지정된 목표물에 대하여 집중적인 정보를 얻게되며 여기에는 거리 정보도 포함된다. 따라서 사람의 양안 구조와 유사한 컴퓨터 비전 시스템을 구현하기 위해서는 목표물의 정의가 우선 되어야한다. 그러나 시각 능력이 부여되어 있지 않은 컴퓨터 비전 시스템에서는 목표물을 자동으로 인지할 수 없기 때문에 사람에 의해 지정해 주어아하는데 본 논문에서는 목표물 지정을 위해 레이저 포인터를 사용하여 지정하였다. 지정된 목표물의 위치를 정확하게 인지하기 위해서는 효과적인 레이저 포인터의 위치 추출방법이 요구되어진다. 한편 변화 성분을 추출하기 위해서는 이전 영상과 현재 영상의 차 영상을 구하여 변화 성분을 추출하게된다. 차 영상을 구하는 방법으로는 픽셀(pixel) 단위의 비교 방법과 블록(block)단위의 비교 방법이 많이 사용되고 있다. 차 영상을 구하는데 문제가 되는 것이 주변의 환경 변화, 즉 밝기 변화에 대한 오류를 갖는 것으로 전처리 및 신호 처리에 많은 장애로 작용하게 된다. 따라서 밝기의 변화에 적응적으로 대처할 수 있는 시스템이 요구되게 되었으며 본 논문에서는 적응형 임계값을 사용하여 차 영상의 추출에 이용하였다.

사람의 양안에 의한 거리 감지 능력을 컴퓨터 비

전에 적용하면 거리를 측정할 수 있다. 이와 같은 컴퓨터 비전을 스테레오 비전 시스템이라 하며 이것을 이용하면 목표물까지의 거리를 측정할 수 있게 된다. 이상의 제안된 알고리즘을 사용하여 지정된 목표물까지의 거리를 측정하기 위한 전체적인 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

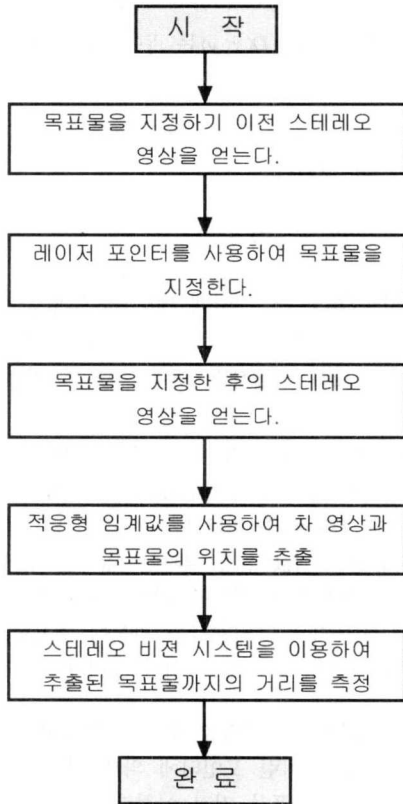


그림 1. 제안된 시스템 구성

III. 목표물 지정 및 적응형 임계값 설정

1. 목표물 지정

목표물을 지정하기 위한 방법은 여러 가지가 있다. 그러나 다수가 영상을 취득한 후 윈도우를 만들어 지정하거나 커서(cursor)를 이용하여 지정하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 영상을 취득한 후 인위적으로 지정하는 방식으로 저속의 이동성을 갖는 목표물에 대해서는 유용하게 적용할 수 있으나, 고속으로 이동하는 물체에 대해서는 어려운 측면이 있다. 그리고 고정된 목표물에 대해서는 그 지정 횟수가 많을 수록 인간에게 불편함을 줄 소지가 있다. 또한 스테레오 비전 시스템을 통해

목표물을 지정할 경우 좌, 우측영상에 대해 두 번의 지정이 필요하며, 지정된 목표물의 위치 변화에 따른 오차 발생 원인이 될 수 있다. 따라서 영상을 취득하기 전에 목표물을 지정한다면 한번의 목표물 지정으로 우리가 원하는 정보를 제공받을 수 있게 된다.

목표물을 지정하기 위해서는 직접 목표물을 지정하는 방식과 원 거리에서 지정하는 방식을 구성할 수 있다. 직접 목표물을 지정하는 방식은 지정자(포인터)를 사용하여 목표물을 지적하는 방법으로 목표물까지 접근하여 지정해야하는 번거로움이 있으며, 특수 환경에는 적용할 수 없는 경우도 발생할 수 있게 된다. 원거리에서 목표물을 지정하는 방식은 광선을 이용하는 방법이 있다. 일반적으로 자연광은 많은 파장이 합성된 것으로 빛의 퍼짐이 강하게 나타나게 된다. 따라서 어떤 특정한 목표물을 지정하기에는 부적합하며, 또 목표물에서의 휘도가 낮게 나타나 광원을 구성하기에 매우 어려운 점이 있다. 한편 광원을 레이저로 사용하면 이 같은 문제는 해결되게 된다. 레이저의 특성을 보면 다음과 같다¹¹⁾.

- 1) 단일 파장의 빛을 발한다.
- 2) 높은 휘도를 갖는다.
- 3) 고도의 지향성을 갖는다.

이 같은 특성을 고려하면 레이저가 목표물을 지정하기 위한 지정자(포인터)로서 가장 적합함을 알 수 있다. 즉, 단일 파장의 빛을 발함으로써 영상을 취득함에 있어 광학 필터를 사용하면 레이저의 파장만 감쇠가 적게 통과시킬 수 있기 때문에 주변 밝기 및 색상에 대한 영향을 감소시킬 수 있고, 단위 면적당 에너지 밀도가 매우 높아 목표물을 지정 시 다른 물체 보다 높은 휘도의 영상을 취득할 수 있어 목표물의 위치 파악에 유리하며, 자연광보다 퍼짐이 적어 한곳에 빛이 집중됨으로써 작은 물체를 지정하기에도 쉬우며, 퍼짐에 따른 거리 측정 오차도 감소시킬 수 있다. 그러나 레이저는 에너지 밀도가 높은 관계로 인간을 대상으로 하는 곳에는 가능하면 피해야하고, 직접 눈에 조사하면 해롭기 때문에 주의 하여야한다.

2. 입력 영상에 대한 적응형 임계값 설정

카메라를 통해 취득한 영상들은 시간적 변화와 주변 환경의 변화에 따라 갑작스러운 밝기 변화를 갖을 수 있다. 또한 스테레오 비전 시스템을 사용하는 경우 좌, 우측 카메라의 특성이 동일하지 않음으로써 발생하는 밝기의 차가 존재할 수 있다. 즉 카

메라의 특성이 생산과정에서 모두 동일한 상태로 조정되어 상품화 될 수 없으며, 또한 사용자가 두 대의 카메라 특성을 동일한 조건으로 만들기 어려운 형편이다. 따라서 일반성을 갖고 구입한 카메라의 특성이 모두 동일하다고 판단하기 어렵다. 이와 같이 밝기 차이를 갖고 취득한 영상으로부터 차 영상을 구하게 되면 지정한 목표물 이외의 많은 영역이 후보 영역으로 나타나게 됨으로써 이를 제거하기 위한 영상 처리를 행하여야하며, 오류에 의한 잘못된 영역을 추출할 확률도 높아지게 된다.

이는 차 영상을 구하는데 있어 어떤 임계값에 의존하기 때문에 발생하는 것으로 밝기 변화에 대한 차의 값이 주어진 임계값 범위를 벗어나게 되면 영역을 확보 할 수 없는 상태가 되어 잘못된 영역을 추출하거나 추출된 영역이 확대되는 현상을 보이게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 밝기 변화에 대해 취득한 영상을 정규화 시킬 필요가 있는데 이는 취득한 전체 영상에 대해 행하게 됨으로써 많은 시간이 소요되게 된다. 따라서 취득한 영상에 대한 차를 구하여 변화 성분을 추출하는 경우에는 밝기 차이에 의한 임계값 적용을 달리함으로써 효율적인 차 영상을 획득할 수 있게 된다. 즉, 이동 성분 발생전과 후의 영상에 대한 밝기 변화가 있으면 어느 한 쪽의 영상을 기준으로 임계값을 변경함으로써 밝기 변화에 대한 효과적인 대처가 이루어져 차 영상을 효과적으로 취득할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 적응형 임계값(adaptive threshold)은 두 단계에 적용하게 되는데, 첫 단계는 목표물 지정 이전 영상과 이후 영상에 대한 차 영상을 얻기 위한 임계값 설정에 사용되며, 다른 하나는 추출된 차 영상으로부터 목표물을 찾기 위한 임계값 설정에 사용된다.

(1) 차 영상 추출에 적용되는 적응형 임계값 설정

아래의 알고리즘은 목표물 지정 이전의 영상과 이후의 영상에 대하여 적응형 임계값을 사용하여 차 영상을 구하기 위한 알고리즘을 제시한 것이다.

[Step 1] 목표물 지정 이전의 영상과 이후의 영상에 대하여 각 영상의 평균 밝기를 구한다.

$$I_{Avg}(x, y) = \frac{1}{N_x \times N_y} \sum_{y=0}^{N_y-1} \sum_{x=0}^{N_x-1} P(x, y) \quad (1)$$

여기서 N_x 는 가로 dot의 수(320), N_y 는 세로 라인(line)의 수(240)이다.

[Step 2] Step 1에서 구해진 평균 밝기 값에 대한 차를 구한다.

$$D(x, y) = I_{P_{Avg}}(x, y) - I_{C_{Avg}}(x, y) \quad (2)$$

여기서 $I_{P_{Avg}}$ 는 목표물 지정 이전 영상에 대한 평균 밝기 값, $I_{C_{Avg}}$ 는 목표물 지정 이후 영상에 대한 평균 밝기 값, $D(x, y)$ 는 두 영상에 대한 평균 밝기의 차

[Step 3] 두 영상의 밝기 차에 대한 적응형 임계값을 구한다.

$$Th_1 = \alpha D + \beta \quad (3)$$

여기서 Th_1 은 두 영상에 대한 차 영상을 구하기 위한 적응형 임계값, α 는 임계값 결정을 위해 실험에 의해 구해진 비례상수, β 는 Th_1 의 적용 범위를 정의한 상수이다.

일반적인 임계값 설정은 취득한 영상의 처리 결과에 따라 매번 조절해야하며, 또한 임계값의 적용 범위 역시 조절해 주어야하는 문제점이 있다. 본 논문의 적응형 임계값 설정 결과인 식(3)은 주어진 적응형 임계값의 적용 범위를 최소화하고, 밝기 변화에 대해 적응적으로 임계값을 만들어 적용함으로써 효과적인 차 영상을 만들기 위한 것이다.

(2) 목표물의 위치 추출을 위한 적응형 임계값 설정

여기서 목표물이란 포인터에 의해 지정된 물체를 정의한 것으로 목표물 지정 이전과 이후 영상의 차 영상에 의해 만들어진 변화 성분 추출만으로는 완전한 위치 파악이 어려운 경우가 생기게 됨으로써 추출된 차 영상으로부터 목표물체를 지정한 포인터의 위치를 찾기 위해 다음과 같은 추출 알고리즘을 적용하여 목표물의 위치를 파악할 수 있게되고, 이를 이용하여 스테레오 비전 시스템에서 시차를 얻게 된다.

[Step 1] 추출된 차 영상으로부터 최고 밝기의 값을 갖는 픽셀의 위치와, 그 밝기를 구한다.

$$P_{max} = \arg \max [D(x, y)] \quad (4)$$

여기서 P_{max} 는 차 영상 중 가장 밝은 픽셀의 밝기 값이며, $D(x, y)$ 는 차 영상의 각 픽셀의 밝기 값이다.

[Step 2] 임계값을 설정한다.

$$Th_2 = 0.97 \cdot P_{\max} \quad (5)$$

여기서 Th_2 는 설정된 임계값이며, 비례 상수 0.97은 실험에 의해 구해진 값으로 지정된 포인터의 영역을 최소화하기 위한 값으로 결정하였으며, 또한 이 값은 거리 측정 오차를 최소화하기 위한 한 값이기도 하다.

상기의 두 알고리즘을 적용함으로써 우리가 원하는 목표물의 위치를 파악하기 위한 영상을 취득할 수 있다. 이 같은 알고리즘은 스테레오 비전 시스템에서 좌, 우 카메라에 대하여 모두 적용하게 되며, 이를 위해 모두 4개의 입력 버퍼(buffer)가 필요하게 된다.

상기의 두 가지 알고리즘을 적용한 목표물의 추출 알고리즘은 다음과 같다.

- [Step 1] 스테레오 카메라에 의해 좌, 우측 영상을 취득한다.
- [Step 2] 추출된 좌, 우 영상으로부터 변화 성분을 얻기 위한 차 영상을 구한다.
- [Step 3] 추출된 차 영상으로부터 목표물의 위치를 추출한다.

IV. 스테레오 비전 시스템을 이용한 거리측정

1. 스테레오 영상

스테레오 비전 시스템은 사람과 같은 입체 시각 체계를 구현하기 위하여 컴퓨터 비전에 이를 적용 사용함으로써 사람과 같은 입체감을 얻도록 하고 있다.

사람의 두 눈은 사물을 보았을 때 다른 시점에서 받아들여진 영상을 뇌에 보낸다. 뇌는 이러한 영상들 사이의 양안 시차를 인식하여 입체감을 만든다. 즉, 두 눈에 의해 입력된 영상은 뇌에서 입체적으로 재구성되며 이를 우리는 스테레오 영상이라고 한다.

스테레오 영상을 구현하기 위해서는 좌, 우측으로 구성된 2대 이상의 카메라에 의해 얻어진 2차원 영상을 필요로 한다. 양안 입체 카메라는 사람의 눈과 같이 두 개의 영상 카메라를 이용하여 좌, 우 영상으로 구성되는 입체 영상을 동시에 취득하는 스테레오 카메라를 말한다.

스테레오 카메라는 좌, 우측 카메라의 설치 방법에 따라 평행식과 교차식으로 분류되며 그림 2에

이들에 대한 구성 방식을 나타내고 있다.

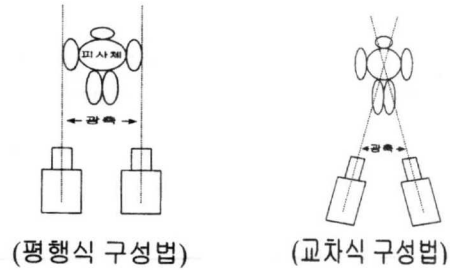


그림 2. 스테레오 카메라의 구성 방식

스테레오 비전 시스템의 입체감은 양안 스테레오 카메라의 보는 위치에서 목표물까지의 거리 정보에 의해 나타난다. 즉, 입체감이라 함은 지정된 물체의 거리가 보는 위치에 따라 달리 나타남으로써 표현되는 것으로 입체감을 갖고 있는 물체에 대해 거리를 모두 정의하기는 객관성이 없어 목표물 내에서의 거리 정보를 사용하게 되는데 이를 우리는 깊이 정보(depth)라고 한다. 이와 같은 거리 정보는 좌, 우 카메라에 의해 취득한 영상의 시적 차이에 의해 표현되게 되는데 이것을 양안 시차(binocular parallax)라고 한다. 이 양안 시차에 의해 목표물까지의 거리감이 발생하게 된다. 따라서 카메라의 특성과 카메라 설치 방법 등이 결정되면 목표물까지의 거리 측정이 가능해진다.

2. 평행식 카메라 설치법에 의한 거리 측정

스테레오 영상을 취득하기 위한 좌, 우 카메라의 설치 방법은 광축의 나열 형태에 따라 평행식과 교차식으로 구분되어 설치되게 된다. 본 논문에서는 입체감을 중요시하고 있지 않기 때문에 즉, 거리 정보를 우선으로 하기 때문에 평행식을 사용하여 거리를 측정하였다. 표 1은 평행식과 교차식 카메라 설치법의 비교를 나타낸 것이다.

표 1의 특성 비교에서 알 수 있듯이 스테레오 카메라의 설치 방법은 거리 산출을 목적으로 하는 스테레오비전 시스템의 적용에는 평행식이 우수함을 알 수 있다. 이러한 특징을 갖는 평행식 카메라 설치법에 대한 거리 산출은 다음과 같이 행하여진다. 그림 3에서 목표물 A까지의 거리 D는 스테레오 카메라 설치 중심점으로부터의 거리이며, 이 거리는 목표물 A와 두 대의 카메라에 맺혀진 영상의 위치에 의해 형성된 삼각형에 의해 산출될 수 있으며, 이에 대한 식은 식(6)과 같이 표현 될 수 있다.

표 1. 스테레오 카메라 설치법의 비교

평행식 설치법	교차식 설치법	평행식 설치법의 특징
두 카메라의 광축이 평행하게 설치되어 있다.	두 카메라의 광축이 지정된 위치에서 교차하도록 설치되어 있다	비교적 원거리 측정이 가능하다
입체 영상의 시차 조절 기능이 없다.	입체 영상의 시차 조절 기능이 있다.	주시하는 목표물에 대해 광축을 교차시킬 필요가 없다.
거리 측정이 용이하다.	양질의 입체 영상을 만들 수 있다.	주시각 제어가 불필요하여 카메라의 이동이 없기 때문에 거리 측정에 용이하며, 관련 수식도 고정적이다.
주시각 제어가 불필요하다.	주시각 제어가 요구된다.	카메라의 이동을 위한 모터 제어가 불필요함으로써 평행식에 비해 고속 움직임을 갖는 물체의 거리 측정이 가능하다.

$$D = \frac{W}{P_l + P_r} \sqrt{(P_l - P_r)^2 + 4f^2} \quad (6)$$

P_l, P_r : 좌, 우측의 카메라에 맺혀진 영상의 중심으로부터 벗어난 거리
 W : 두 카메라 사이의 중심 거리
 f : 렌즈와 CCD와의 거리
 D : 목표물과의 거리

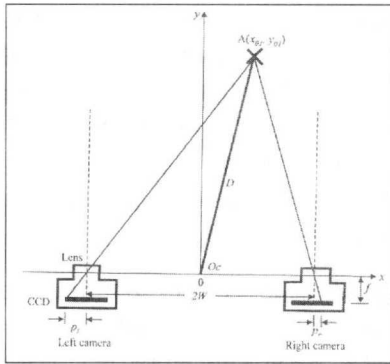


그림 3. 평행식 스테레오 카메라의 구조

V. 실험 결과 및 고찰

본 실험에 사용된 카메라는 JC0002R1의 소형 카메라를 사용하여 스테레오 영상을 취득하였으며 카메라의 설치 간격은 63(mm)로 하였다. 또한 시스템 구현의 소형화와 일반화를 위하여 Pentium-90 (90MHz)의 시스템과 DOS환경에서 Turbo C를 사용하여 구현하였다.

그림 4에는 본 실험을 위해 사용한 전체 시스템의 구성도를 나타낸 것으로 레이저 Pointer의 색상을 고려하여 카메라 앞에 붉은 색의 광학 필터를 사용 영상을 입력받도록 하였다.

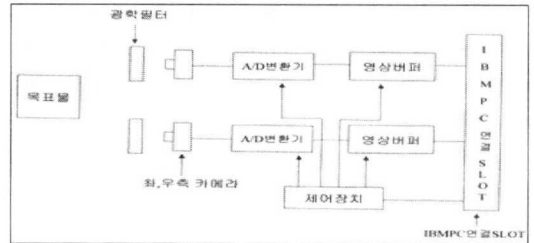


그림 4. 시스템 구성도

그림 5는 본 연구에 사용된 카메라 시스템 구조를 나타낸 것으로 (a)는 광학 필터를 사용하지 않은 상태이며, (b)는 붉은색 광학 필터를 사용할 경우의 그림으로 상단 중앙에 레이저 포인터가 보인다.

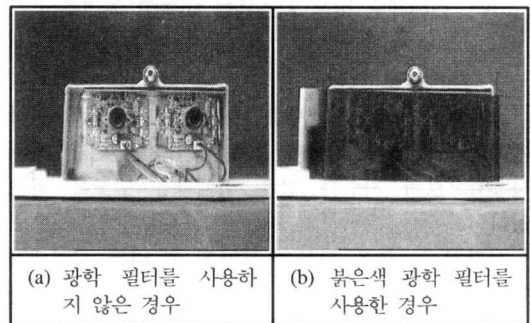


그림 5. 스테레오 카메라 시스템

1. 레이저 포인터

본 연구에 사용한 레이저는 반도체 레이저로 그 파장이 640(nm)정도의 붉은색 레이저를 사용하였으며, 광 출력도 인체에 영향을 적게 미치도록 저전력인 1(mW)이하의 것을 사용하였다. 또한 레이저는 에너지 밀도가 높아 인체에 해를 줄 수 있기 때문에 그 적용 분야를 사람과 관계되지 않는 부분을 대상으로 실험을 하였으며, 사람과 연관된 실험에는

별도의 보호 장치를 사용하여야 한다. 특히 사람의 눈을 대상으로 조사해서는 안된다. 사용한 레이저 포인터의 색상이 붉은색으로 주변 밝기에 따라 오인식하는 경우가 발생하여 앞단에 붉은색 광학 필터를 사용함으로써 목표물 주위가 매우 밝은 경우에도 잘 적응하여 목표물을 추출할 수 있었다. 특히 같은 붉은색 계통의 배경일 지라도 레이저의 고 휘도라는 특성으로 휘도 차에 따라서 레이저 포인터의 위치를 식별할 수 있었다. 레이저 포인터의 설치 위치는 스테레오 카메라가 설치된 중심에 위치시켰으며, 이는 카메라와 레이저 포인터의 방향이 같음으로써 편리성을 제공하기 때문이다.

그림 6은 광학 필터를 사용하는 효과를 나타내는 것으로 필터는 붉은색(red)과 검붉은색(dark red)의 두 종류를 사용하였으며, 붉은색 필터를 사용하는 경우에는 주변의 영상이 충분히 반영되어 양질의 화면이 나타나지만, 검붉은색의 필터를 사용하는 경우 주변의 배경도 심한 감쇠를 받아 영상의 질이 떨어짐을 알 수 있다. 또한 필터를 사용하지 않은 경우에는 주변의 밝기가 밝은 부분에 레이저 포인터의 위치가 정해지면 사람의 눈으로 구분 할 수 있는 환경에서도 레이저 포인터의 위치를 인지할 수 없음을 알 수 있다. 따라서 붉은색 광학 필터는 레이저 포인터의 발광 색상을 잘 통과시키며, 입력 영상의 손상을 적게 해줌으로써 붉은색 광학 필터를 사용하여 레이저 포인터의 위치를 찾는데 사용하였다.

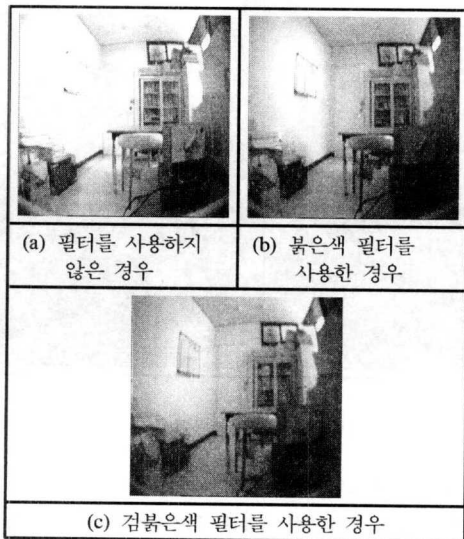


그림 6. 광학필터 종류에 따른 필터의 효과 비교

2. 목표물의 위치 추출

상기의 레이저 포인터에 의해 지정된 물체의 포인터 위치를 추출하기 위해서는 목표물을 지정하기 이전의 영상과 이후의 영상이 필요하며, 이 두 영상의 차에 의해 레이저 포인터로 지정된 위치를 추출할 수 있다. 여기서 중요한 것이 취득한 영상의 밝기 변화에 따른 잘못된 영역 추출이나 목표물을 지정한 포인터의 확대 현상이며, 이를 줄이기 위해 적응형 임계값 설정을 제안하였고 이를 근거로 실험을 하였다.

그림 7에는 목표물 지정 이전과 이후 영상의 밝기 변화를 나타내는 것으로 목표물을 지정하기 이전 영상의 평균 밝기는 158이며, 지정 이후의 평균 밝기는 162로 밝기의 차이가 있음을 알 수 있다. 또한 좌, 우 카메라에서 취득한 영상은 각 카메라의 특성에 따라 그 밝기가 일치하지 않기 때문에 이에 대한 보정이 요구되게 된다. 그러나 영상 밝기에 대한 보상은 영상 전체를 대상으로 해야하기 때문에 많은 처리 시간이 요구된다. 따라서 본 논문에서 제안한 적응형 임계값을 적용하면 취득한 영상의 보정 없이 효과적인 차 영상을 얻을 수 있다.

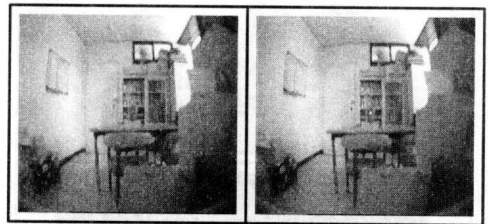


그림 7. 목표물 지정에 따른 영상의 밝기 변화

그림 8은 입력된 두 영상에 대한 차 영상을 얻기 위해 적응형 임계값을 적용하지 않은 결과로 그림에서 보는 것과 같이 목표물 이외에 많은 부분이 후보 영역으로 존재함을 알 수 있다. 이것은 입력된 두 영상의 밝기 차에 따라 차 영상을 얻기 위한 임계값을 조절하여 얻은 결과로 두 영상의 밝기 차에 따른 임계값 조절이 요구됨을 나타내 주고 있으며, 이는 수 작업으로 행하여지기 때문에 실시간 처리 등에는 매우 어려운 점이 있다.

그림 9는 본 논문에서 제안한 적응형 임계값을 사용하여 차 영상을 추출한 것으로 그림 8에 비해 후보 영역이 매우 좁혀져 있음을 알 수 있다. 그림의 상단 좌, 우 영상은 목표물 지정 이전과 이후의

영상으로 각각의 평균 밝기는 목표물 지정 이전 영상의 평균 밝기는 172, 지정 후의 평균 밝기는 175 이었다. 따라서 주어진 실험식에 의해 적응형 임계값을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Th_{\min} &= \alpha D + \beta \\ &= 10 \times | (175 - 172) | \\ &= 30 \end{aligned}$$

여기서 상수 α 는 실험에 의해 구해진 비례 상수로 10의 값을 갖는다. 상수 β 는 임계값의 범위를 지정하기 위한 것으로 최소값은 0을 갖으며, 최대값은 $255 - Th_{\min}$ 의 값을 갖게 된다. 상기의 Th_{\min} 값은 두 영상의 차의 값이 가장 작은 임계값을 의미하고 이때 β 의 값은 0으로 정의하며, β 의 가장 큰 값은 $255 - y_{(\beta=0)}$ 로 최고의 임계값은 255의 값을 갖음을 알 수 있다. 따라서 적응형 임계값의 범위는 $\beta=0$ 일 때의 임계값과 255의 범위를 갖고 적응형 임계값의 범위를 설정하게 된다. 그림 8, 9의 하단 중앙에 위치한 그림은 각각의 경우에 추출된 결과를 보인 것이다.

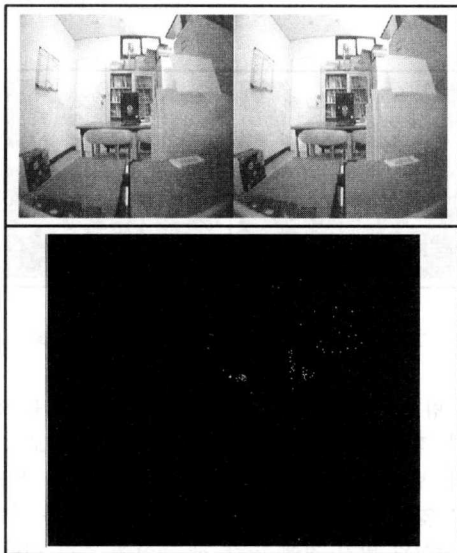


그림 8. 차 영상의 후보 영역(수동형 임계값 적용)

이렇게 얻어진 차 영상은 목표물을 찾기 위한 후보 영역으로 목표물을 찾기 위해서는 제안한 2번째 임계값을 적용하는 알고리즘 즉 추출된 후보 영역에서 가장 밝은 밝기를 갖는 픽셀값을 구하여 그 값의 97(%)에 해당하는 픽셀만 남기고 나머지 픽셀은 제거하는 알고리즘을 적용하여 지정한 레이저

포인터의 위치를 추출하도록 하였다.

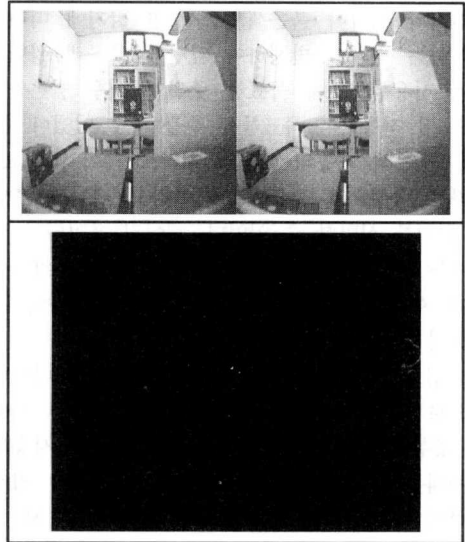


그림 9. 차 영상의 후보 영역(적응형 임계값 적용)

그림 10은 주어진 두 영상과 이에 대한 차 영상 그리고 추출된 레이저 포인터의 위치를 나타낸 것으로 좌 상단은 목표물 지정 이전의 영상이고, 우 상단은 목표물 지정 이후의 영상이며, 좌 하단은 두 영상의 차 영상이고, 우 하단은 Th_2 를 적용하여 추출한 목표물의 위치이다.

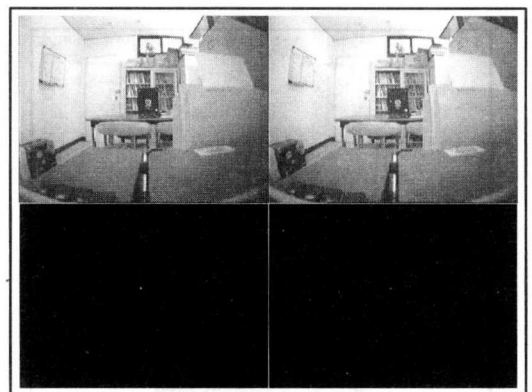


그림 10. 추출된 목표물의 위치

3. 목표물의 거리 측정

스테레오 비전 시스템을 이용하여 거리를 측정하기 위해서는 카메라의 설치 방법과 카메라의 설치 거리 및 카메라의 특성이 주어져야만 한다. 표 2는

카메라의 특성과 구성 요소를 정의했다.

표 2. 카메라의 특성

항 목		특 성	비고
1. 설치 방법		평행식 설치	
2. 설치 간격		63(mm)	2w
3. 초점 거리		3.6(mm)	f
4. 필터		적색 광학 필터	
5. CCD	크기	1 픽셀	9.6 × 7.5(μm)
		전체	4.9 × 3.69(mm)
	해상도	가로	512 dots
		세로	492 lines

상기의 설치 환경과 그림 3의 카메라 구조에 의해 스테레오 비전 시스템에서 거리는 다음과 같은 식을 적용하여 거리를 측정하였다.

$$D = \frac{W}{(P_l + P_r)} \sqrt{(P_l - P_r)^2 + 4f^2}$$

$$= \frac{3.15 \times 10^{-2}}{(15.36 \times 10^{-6}) \times (P_b + P_{rp})} \cdot \sqrt{(15.36 \times 10^{-6})^2 \times (P_n - P_{rp})^2 + 4 \times (3.6 \times 10^{-3})^2}$$

여기에서 D 는 두 카메라의 중심에서 목표물까지의 거리, W 는 두 카메라 사이의 중심에서의 거리, f 는 카메라 렌즈에서 CCD까지의 거리(초점 거리)이다. 그리고 P_l 과 P_r 은 길이 개념이지만, P_b 와 P_{rp} 는 픽셀 개념으로 좌, 우측 카메라에 맺혀진 영상이 CCD의 중앙으로 부터 벗어난 픽셀의 수이다.

그림 11에는 두 영상으로부터 추출된 목표물의 거리를 측정한 예를 보인 것으로 우측 하단의 것이 최종 거리를 표시하는 그림이다.

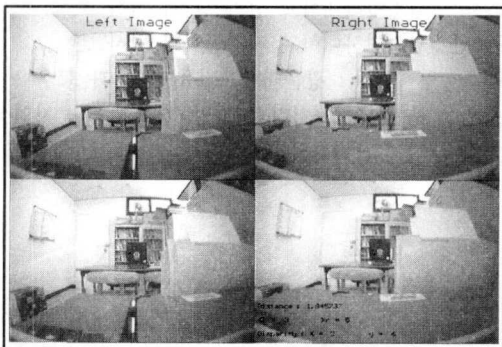


그림 11. 목표물까지의 거리 측정

이 같은 거리 측정은 표 3에서처럼 실험을 통해 측정하였으며, 측정된 거리는 실측에 의해 측정된 거리와 비교하여 그 오차를 산출한 결과 2.44(%)의 오차를 갖는 것을 확인하였다. 이 같은 오차의 원인은 실측시 판독 오차도 적용 될 수 있으며, 카메라의 조정(calibration) 부적합, 카메라 규격의 불 균 일 등을 들 수 있다. 특히 카메라 조정은 정밀도와 매우 깊은 연관성을 갖고 있으므로 향후 정밀도의 개선을 위하여는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

표 3에는 주어진 5개의 거리 측정에 대한 데이터를 나타낸 것으로 측정 거리가 멀수록 측정 오차는 적어지며, 근 거리 일수록 측정 오차가 커짐을 알 수 있다. 이것은 스테레오 비전 시스템을 구성하는 평행식 카메라 설치법의 한 특성으로 근거리에서의 시차는 커지며, 원거리에서의 시차는 작아지는 특성이 있어 발생하는 오차이다. 여기서 오차율은 식 (7)을 사용하여 산출하였다.

$$\epsilon = \frac{M - R}{R} \times 100 \quad (\%) \quad (7)$$

여기서 ϵ 은 오차율, M 는 측정값, R 은 기준 값이다.

표 3. 거리 측정 데이터

목표물	실측거리(R)	측정거리(M)	오차율(ε)
A	1.0(m)	1.04(m)	4(%)
B	1.5(m)	1.55(m)	3.3(%)
C	1.8(m)	1.84(m)	2.2(%)
D	2.0(m)	2.03	1.5(%)
E	2.5(m)	2.53	1.2(%)

VI. 결론

본 논문에서는 스테레오 비전 시스템으로부터 레이저 포인터와 적응형 임계값을 이용한 차 영상을 추출하여 목표 물체까지의 거리를 측정하는 방법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 목표물 지정 이전 영상과 이후 영상에 대한 밝기 변화에 대하여 적응적으로 임계값을 설정함으로써 효과적인 차 영상을 추출할 수 있었다. 기존의 방식은 임계값을 수동으로 조절함으로써 연속성을 갖고 이동하는 물체의 실시간에 근접한 처리가 어려웠으나 적응형 임계값을 사용함으로써 이 같은 문제를 해결할 수 있었다. 또한 취득한 영상으로부터 목표물을 인식할 수 없

는 상황에서 거리를 측정할 수 없으나, 레이저를 사용하여 목표물을 정의시킴으로써 거리 측정을 쉽게 이룰 수 있다. 기존에는 취득한 영상을 확인하여 윈도우를 만들어 지정하거나, 특정한 커서를 이용하여 지정함으로써 불편함이 있었다. 한편 레이저의 단색광 특성을 이용하여 카메라 앞에 적색 광학 필터를 사용하여 목표물을 지정함으로써 레이저의 위치 추출에 효과적이었다. 스테레오 비전 시스템에서 취득한 영상의 차 영상을 이용하여 목표물의 위치를 추출하고, 이 위치 값을 이용해 목표물까지의 거리 측정 방법을 제안하였는데 거리 측정에서 2.44(%)의 평균 오차를 갖고 거리 측정이 가능하였다. 향후 정밀도의 향상을 위하여 카메라 정수의 조정할 수 있도록 연구되어야하며, 이 조정은 가능하면 기계식 보다는 전자식 교정 방법이 제시되어 연구 되어야 할 것으로 사료된다.

실험 결과 양질의 차 영상을 취득 할 수 있었으며, 이에 따라 목표물의 위치를 정확하게 찾을 수 있었고, 목표물까지의 거리 측정이 가능하였다. 따라서 본 연구 결과 목표물 지정 방식의 유용성과 거리 측정의 가능성을 보였으며, 로봇의 비전 시스템의 거리 측정에 적용함으로써 자율 주행을 하는 로봇에 많은 효과가 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

[1] Yi-Mo Zhang, Yu-Wen Qin, Bao-Zhen Ge, Zhan-Hua Huang, and Xi-Ming Chen, "Adaptive Moving Object Tracking Using Nonlinear JTC", SPIE, vol.2778, pp. 457~458, 1996

[2] Fabio Tsuzuki, Ken Sasaki, "Novel Configuration of Ultrasonic Sensor for Mobil Robot", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2080~2085, Sep 12-16, 1994

[3] M. Rioux, "LASER Range Finder based on Synchronized Scanners", Applied Optics. 23, 21, 3837~3844, 1984.

[4] G. Borgefors, "Distance Transformations in Digital Images", Computer Vision, Graphics and Image Processing vol. 34, pp. 344~371, 1986.

[5] 김은수, 이승현, "3차원 영상의 기초", 기다리, 1998

[6] 김인섭 "측량학", 구미서관, pp. 16-49, 1994

[7] Anilk. Jain, Patrick J.Flynn "Three- Dimensional Object Recongition Systems", ELSEVIER, pp. 17-56, 1993

[8] Z. F. Wang and N. Ohnish, "Intensity -based Stereo Vision: from 3-D to 3-D", SPIE, vol.2, pp. 434-443, Nov. 1994.

[9] D. Marr and T. Poggio, "Computational Theory of Human Stereo Vision", Proc. of Roy. Soc. London B, vol. 204, pp. 302~308, 1979

[10] D.J Coombs and C.M. Brown, "Cooperative Gaze Holding in Binocular Vision", IEEE Control Sysytem, pp.24~ 33, 1991

[11] 김종오, "물리학 총론 II부". 교학사, 1998

김 수 인(Soo In Kim)

정회원



1984년 2월 : 광운대학교 전자 공학과 졸업

1991년 2월 : 광운대학교 전산기 공학과 석사

1984년 2월~1991 4월 : 갑일전자 연구소 근무

1991년 6월~1996. 2월 : 유켄 컴퓨터 기술부 근무

2000년 12월 광운대학교 컴퓨터 공학과 박사 수료

1996년 3월~ 현재 : 김포대학 공학부 전자정보계열 조 교수

<주관심 분야> 스테레오 비전, 영상 처리 및 인식

남궁 재찬(Jae Chan Namgung)

정회원

1992년 2월 : 안하대학교 전기 공학과 졸업

1994년 2월 : 인하대학교 전자공학과 석사

1996년 3월 : 인하대학교 전자공학과 박사

198 년 월~현재 : 광운대학교컴퓨터공학과 교수

<주관심 분야> 영상 처리, 신경망, 영상압축, 문자인식