

스테레오 비전 시스템에서 광축 외부 물체 측정을 위한 시뮬레이션

김은주*, 이병수**

*인천대학교 컴퓨터공학과

e-mail:leebone28@hanmail.net

Simulations for Measuring the Optical Axis outside Objects in Stereo Vision System

Eun-Ju Kim*, Byung-Soo Lee*

*Dept. of Computer Engineering, University of Incheon

요 약

본 논문은 인간의 시각체계를 모방한 스테레오 비전 시스템을 이용해 물체까지의 거리를 측정하는 방법을 제안한다. 기존 연구에서의 거리 측정 방법은 스테레오 카메라의 중복 영역 중에서 광축 내부에 물체가 위치했을 경우에만 측정 가능하다는 단점이 있다. 그래서 본 논문에서는 두 카메라의 중복 영역 중에서 광축 외부에 물체가 위치했을 경우에 그 물체까지의 거리를 측정하는 방법을 제안 한다. 본 논문에서 제안한 거리 측정 방법을 확인하기 위해 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션 실험 결과 제안된 거리 측정 방법의 정확성을 확인하였다.

1. 서론

최근 첨단기술의 분야로 지능형 로봇에 대한 관심이 계속하여 커지고 있다. 과거 산업용 로봇이 주류를 이루던 시대와는 달리 최근 로봇 기술은, IT, BT 및 NT등 관련 기술들이 융합된 기술로 구현되고 있다. 우리나라도 최근 휴머노이드(Humanoid) 로봇을 발표하면서 지능형 로봇개발에 힘쓰고 있다[1]. 이러한 로봇은 사람에게 역할을 대신할 수 있는 것에 목적이 있다. 컴퓨터 비전(Computer Vision) 기술은 사람의 눈의 역할을 대신하는 기술이다. 이러한 컴퓨터 비전 기술은 로봇 산업 분야뿐 아니라 자동 무인시스템 분야, 지능형 안전 시스템에서도 적용사례를 찾아 볼 수 있다.

이와 관련하여 영상을 이용한 자동무인시스템은 하나의 카메라를 사용하는 경우가 많다. 그러나 하나의 카메라를 사용하는 것은 감시의 기능을 할 수 있으나 지능을 갖춘 감시시스템으로 발전시키기가 어렵다. 그래서 컴퓨터 비전 기술을 적용해 지능을 갖춘 자동무인시스템을 발전시키고 있고 다양한 기술발전에 대한 연구가 요구되고 있다[2]. 그리고 이러한 자동무인시스템은 안전을 위한 감시 시스템으로 넓혀지고 있는데 특히 항공, 철도에서 CCD(Charge-Coupled Device)카메라를 이용한 감시시스템은 안전과 보안에 의한 높은 신뢰도를 나타내고 있다[3]. 그러므로 현재 개발되어 적용되는 제어·계측 분야에 대한 다양성 및 정확성이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 인간의 눈의 역할을 대신하는 컴퓨터 비전의 핵심 기술인 시각분야에서의 거리 측정(Distance Measurement) 방법을 제안한다. 비전 시스템에서의

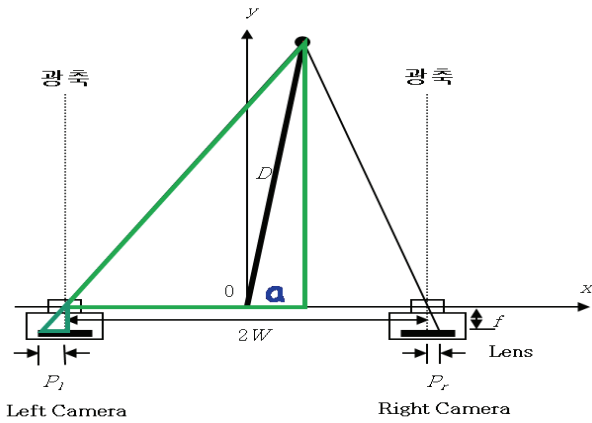
거리 측정의 목적은 물체와의 상호관계를 알 수 있고, 이것을 바탕으로 향후 행동을 결정 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 거리 측정 방법은 기존의 거리 측정 적용 범위를 확장했다는 것에 의미가 있다. 그리고 제안된 거리 측정 방법의 정확성을 확인하기 위해서 시뮬레이션을 실행하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 스테레오 카메라에 대해 설명했고, 3장은 선행연구와의 차별성에 대하여 논했으며 4장은 제안한 거리측정방법에 대해서 살펴본다. 5장은 시뮬레이션 실험을 했으며 마지막으로 6장에서 결론을 도출한다.

2. 관련 연구

스테레오 비전 시스템의 카메라 구성법은 카메라의 이동이 없고 고정적인 평행식 카메라 구성법이 있으며, 평행식은 거리측정에 용이하다.

또한, 인간의 시각체계와 유사한 교차식 카메라 구성법이 있는데 두 카메라의 광축이 지정된 위치에서 교차하도록 설치되어 있으며, 입체 영상을 만드는데 편리하다[4][5].

스테레오 카메라를 평행식과 교차식으로 구성한 후 물체를 인식하고 거리를 측정해야만 향후 행동에 대한 결정을 내릴 수 있다. 그래서 스테레오 비전 시스템에서 거리를 측정하는 것은 매우 중요하다. 현재 거리 측정 방법에는 토목·건축 분야에서 사용 되고 있는 삼각측량법이 있다.[6] 컴퓨터 비전에서의 다양성을 위해 거리 측정 방법을 달리할 필요가 있으며 거리 측정 분야의 관련 연구에서 중심 거리 측정 방법을 제안하였다. (그림 1)은 중심거리 측정 방법의 선행 연구를 보여 주고 있다.



(그림 1) 평행식에 의한 중심 거리 측정 방법

- P_l, P_r : 좌, 우측 카메라의 중심으로부터 벗어난 거리
- W : 두 카메라 사이의 중심 거리
- f : 카메라의 초점 거리
- D : 물체까지의 거리

(그림 1) 에서 스테레오 비전 시스템을 이용한 거리 측정에서 좌, 우측 카메라 사이의 광축 안에 물체가 있을 경우 중심거리에서의 계산식은

$$P_l : f = W + a : y \quad (1)$$

$$P_r : f = W - a : y \quad (2)$$

(그림 1) 에서 보여지는 중심거리에서 a 의 비례식에 의해 식 (1), (2)도출되고, 이를 정리하면 중심거리 D 가 식 (3)에 의해 구해진다.

$$D = \frac{W}{P_l + P_r} \sqrt{(P_l - P_r)^2 + 4f^2} \quad (3)$$

중심 거리 측정 방법은 스테레오 카메라를 평행식 구성법으로 설치한 후 두 카메라의 전체 영역 중에서 광축 내에 (그림 2) 에 보면 A영역에 대한 거리 측정 방법을 제시했다. (그림 2) 에서 A영역은 식 (3)에 의해서 가능하다[7].

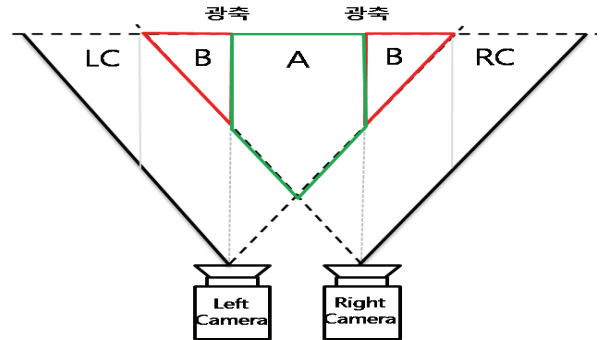
3. 선행연구와의 차별성

지금까지 물체를 인식하기 위한 거리 측정 방법에 대한 다양한 연구들이 선행 되었다. 본 논문은 기존 연구에 대한 응용 부분으로써 거리 측정 방법에 대한 다양성을 제시하면서 물체 인식에 대한 영역 범위 확장에 초점을 두었다.

그리고 제시한 측정 방법의 정확성을 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션 실험 결과 거리 측정 방법의 정확성을 확인하였다.

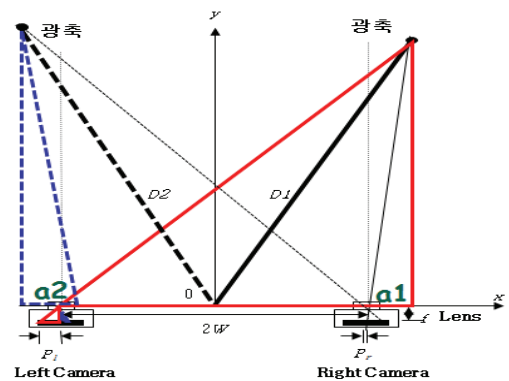
4. 제안한 거리 측정 방법

본 논문에서 제안한 거리 측정 방법이 어떻게 적용되는지 스테레오 비전 시스템 영역으로 구분해서 살펴보자. 스테레오 비전 시스템 전체 영역을 세부분으로 나누면 첫째 광축 내영역(A), 둘째 광축 외영역(B), 그리고 카메라 하나로만 볼 수 있는 폐색영역으로 오른쪽 카메라만 볼 수 있는 (RC)영역과, 왼쪽 카메라만 볼 수 있는 (LC)영역으로 구분 된다. 스테레오 비전 시스템의 전체 영역에서 A영역은 선행 연구에서 제시한 거리측정 방법이 있으며 본 연구에서는 B영역에 물체가 있을 경우의 거리 측정 방법을 제안한다.



(그림 2) 스테레오 비전 시스템 영역

(그림 2)의 스테레오 비전 시스템 영역중에서 B영역에 대한 거리 측정 방법을 제시하면 우측 카메라의 광축을 기준으로 광축 내 영역에서는 + 값을 갖게 되고 광축 외 영역에서는 - 값을 갖게 된다. 따라서 B 영역에 대한 $D1$ 의 거리 측정 방법은 식(4),(5)에서 도출한 식(6)에 의해 가능하다. 그리고 영역에 대한 $D2$ 의 거리는 식 (7)에 의해 계산된다.



(그림 3) 평행식 카메라의 광축 외 영역

$$P_l : f = (2W + a1) : y \quad (4)$$

$$P_r : f = a1 : y \quad (5)$$

(그림 3)에서 두 카메라 사이에서 광축 외 오른쪽 영역부분에 물체가 있을 경우 비례식 (4) 와 (5)의 식이 도출되고 이를 정리하면 식(6)의 결과가 나온다. $D1$: 우측 물체까지의 거리

$$D1 = \frac{W}{P_l - P_r} \sqrt{(P_l + P_r)^2 + 4f^2} \quad (6)$$

(그림 3)에서 스테레오 카메라의 광축 외에 물체가 왼쪽에 있을 경우를 보여주고 있으며 절대 값에 의한 거리 식 (7)에 의해 계산된다. $D2$: 좌측 물체까지의 거리

$$D2 = \frac{W}{|P_l - P_r|} \sqrt{(P_l + P_r)^2 + 4f^2} \quad (7)$$

4. 시뮬레이션 실험

제한된 거리 측정 시뮬레이션을 구현하기 위하여 Pentium-4의 컴퓨터 OS는 window-XP를 사용하였고, 시뮬레이션은 SolidWork 소프트웨어를 사용했으며, 거리 계산 결과 인터페이스 language는 C#으로 구현하였다.

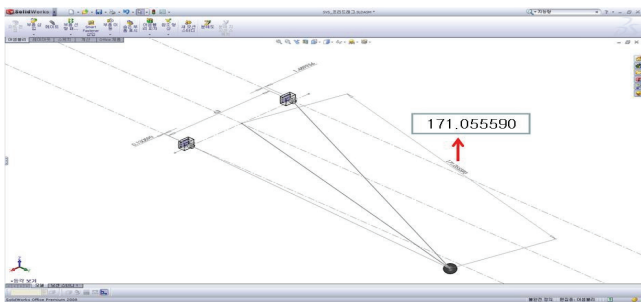
본 시뮬레이션의 목적은 스테레오 비전 시스템을 모델링하여 이를 바탕으로 두 카메라의 광축 외부에 물체가 있을 경우 그 물체까지의 거리를 제한된 거리 측정 방법으로 적용하여 정확성을 확인하기 위함이다.

<표 1> 시뮬레이션 실험 환경 설정

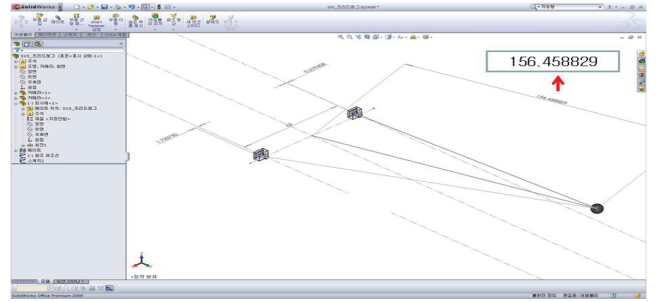
항 목	특 성	비고
설치 방법	평행식 설치	
설치 간격	63(mm)	2w
초점 거리	3.6(mm)	f

컴퓨터 시뮬레이션 실험 환경은 <표 1> 에서 보는 바와 같이 평행식 카메라 설치법으로 했으며 설치간격은 63(mm), 초점거리 3.6(mm)로 설정하였다. 설치방법, 설치간격, 초점거리를 시뮬레이션으로 구성하면 P_l 점과 P_r 점의 위치좌표가 설정된다.

(그림 4) 는 시뮬레이션으로 스테레오 비전 시스템을 <표 1> 과 같은 환경으로 모델링한 후 우측 카메라의 광축을 벗어난 영역에 물체가 있을 경우의 결과 화면이며, 광축 외부의 좌표값으로 P_l 은 0.130890mm 이고, P_r 은 1.489956mm로 설정 됐으며 거리 측정 결과는 171.055590으로 측정되었다.



(그림 4) 시뮬레이션 우측 카메라 결과 화면



(그림 5) 시뮬레이션 좌측 카메라 결과 화면

(그림5)는 좌측 카메라의 결과 화면이며 광축 외부의 좌표값으로 P_l 은 1.720750mm 이고, P_r 은 0.219458mm로 설정 됐으며 거리 측정 결과는 156.458820으로 측정되었다.

시뮬레이션 실험 결과 광축 외 영역의 좌·우측 거리 값이 측정 되었다. 시뮬레이션에서 측정된 거리 값과 본 논문에서 제안한 거리 측정 값의 비교를 위해 계산 인터페이스 화면을 구현하였다.

```
private void button1_Click
(object sender, EventArgs e) {
double cam_distance, focus_distance,
pl, pr, distance_out, distance_in;

cam_distance = double.Parse(txt_CamDistance.Text);
focus_distance = double.Parse(txt_FocusDistance.Text);
pl = double.Parse(txt_Pl.Text);
pr = double.Parse(txt_Pr.Text);

cam_distance = cam_distance / 2;

distance_in = Math.Abs((((cam_distance / (pl + pr))
* (Math.Sqrt(Math.Pow((pl - pr), 2)
+ (4 * Math.Pow(focus_distance, 2))))));
distance_out = Math.Abs((((cam_distance / (pl - pr))
* (Math.Sqrt(Math.Pow((pl + pr), 2)
+ (4 * Math.Pow(focus_distance, 2))))));

txt_Obj_distance_in.Text = distance_in.ToString();
txt_Obj_distance_out.Text = distance_out.ToString();
}
```

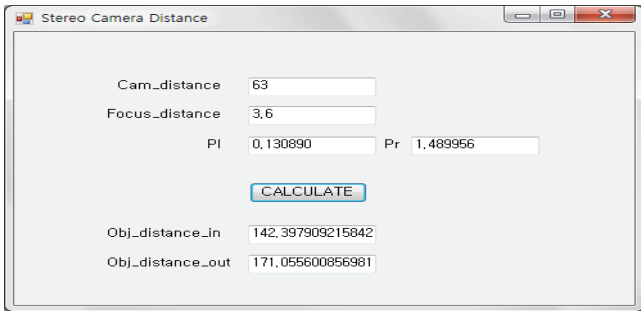
(그림 6) 계산 처리 알고리즘

(그림 6)의 계산 프로그램으로 (그림 7), (그림 8)의 인터페이스 실행화면이 구성되어진다.

<표 2> 우측 인터페이스 실험 환경

항 목	특 성	비고
Cam_distance	63(mm)	
Focus_distance	3.6(mm)	f
Left Camera(P_l)	0.130890(mm)	
Right Camera(P_r)	1.489956(mm)	

<표 2> 는 시뮬레이션 실험의 우측 계산을 위한 인터페이스 환경설정이며 카메라 사이의 설치 간격, 초점거리등은 실제 시뮬레이션과 동일하며 PI 과 Pr은 모델링한 시뮬레이션의 두 카메라 사이의 광축외의 좌표값이다.



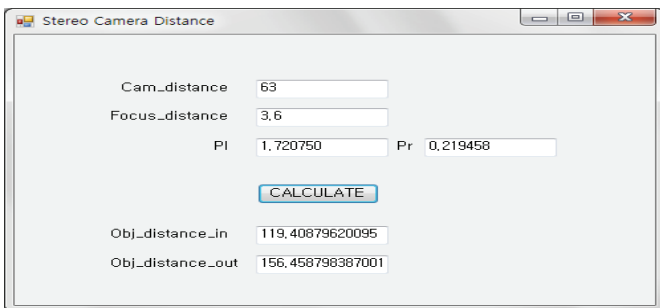
(그림 7) 우측 계산 결과 인터페이스

(그림 7) 에서 보면 Obj_distance_out은 본 논문에서 제안한 계산 방법 식(6)에 의한 계산 결과이고 Obj_distance_in은 기존 연구에서 제안한 식(3)에 의한 계산 결과이다. (그림 7) 에서 결과를 보면 두 카메라 사이에 물체가 광축 외부에 있을 경우에는 시뮬레이션 결과의 값과 같은 Obj_distance_out의 결과 값이 정확함을 보여 주고 있다.

<표 3> 좌측 인터페이스 실험 환경

항 목	특 성	비 고
Cam_distance	63(mm)	
Focus_distance	3.6(mm)	f
Left Camera(PI)	1.720750(mm)	
Right Camera(Pr)	0.219458(mm)	

<표 3> 은 시뮬레이션 실험의 좌측 계산을 위한 인터페이스 환경설정이며 카메라 사이의 설치 간격, 초점거리등은 우측 인터페이스 환경과 동일하며 PI 과 Pr은 모델링한 시뮬레이션의 두 카메라 사이의 광축외의 좌표값이다.



(그림 8) 좌측 계산 결과 인터페이스

(그림 8) 에서 보면 Obj_distance_out은 본 논문에서 제안한 계산 방법 식(7)에 의한 계산 결과이고 Obj_distance_in은 기존 연구에서 제안한 식(3)에 의한 계산 결과를 보여 주고 있다.

본 논문에서 제안한 거리 측정 방법을 시뮬레이션 결과와 계산 인터페이스 결과로 <표 4> 과 같이 비교하였다. 시뮬레이션 좌측 측정결과는 156.4588이고 우측 측정결과는 171.9555이다 그리고 계산 인터페이스의 좌측 결과는 156.4587이고, 우측 결과는 171.0556로 측정 되었다. <표4>에서 보면 측정 오차가 0.0001(mm)로 비교적 정확한 실험 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 Obj_distance_in의 광축 내의 거리 측정 값과 Obj_distance_out의 광축 외의 거리 측정 값을 구할 수 있었으며 이러한 거리 측정 값은 스테레오 카메라의 전체 중복 영역에 물체까지의 거리를 측정할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

<표 4> 측정 결과 비교표

	시뮬레이션측정결과	계산 결과
좌 측	156.4588	156.4587
우 측	171.0555	171.0556

6. 결론

본 논문은 인간의 시각체계를 모방한 스테레오 비전 시스템을 이용해 물체까지의 거리를 측정하는 방법을 제안한다. 기존 연구의 단점을 보완해 스테레오 카메라의 영역 중에서 광축 외부에 물체가 위치했을 경우 그 물체까지의 거리 측정 방법을 제안하였다.

제안한 거리 측정 방법의 정확성을 확인하기 위해 시뮬레이션을 실행했으며 계산 인터페이스도 구현하였다. 실험 결과, 측정 오차가 0.0001(mm)로 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안한 거리 측정 방법은 기존 연구의 거리 측정 방법과 함께 스테레오 비전 시스템의 전체 중복 영역 안에 물체가 위치했을 경우 거리 측정이 가능함을 보였다.

향후 과제로는 본 논문에서 제안한 거리 측정 방법을 실제 거리 측정 실험으로 구현하는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] "IT-BT 융합분야에서 의료용 로봇시장의 동향 및 전망". 삼성경제연구소. 2010.
- [2] Soo-In Kim, "A Study on External Light Noise Reduction Using Stereo Vision System in Image Monitoring System". 조명·전기설비학회. 2009.
- [2] 최권희, "철도 시스템의 지능형 안전설비 기술동향". 조명·전기설비학회. 2009.
- [3] 김은수, 이승현, "3차원 영상의 기초". 기다리. 1998.
- [4] 김수인, "A Study on the Autonomous Moving Robot by using the Human Vision". 광운대학교. 2003.
- [5] 박현석. "A Real Time Distance Measurement System Using the Stereo Vision". 한국정보처리학회. 2005
- [6] 김수인. "스테레오 비전 시스템에서 레이저 포인터를 이용한 표적물까지의 거리 측정". 한국통신학회. 2002.