

스테레오 비전을 이용한 실시간 거리 측정 시스템

박현석*, 이일병*
*연세대학교 컴퓨터 과학과
e-mail : {blackstar,yblee}@csai.yonsei.ac.kr

A Real Time Distance Measurement System Using the Stereo Vision

Hyunsuk Park*, Yillbyung Lee*
*Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문에서는 인간의 머리부분을 흉내 낸 시각 시스템으로서, 4 축의 각도 조절이 자유로운 시스템에 두 개의 CCD 카메라를 연결하여 실시간으로 입력되는 영상 데이터로부터 레이저 포인터의 위치 정보를 추출한 후 주 카메라를 이용하여 시스템 전체를 레이저 포인터의 중심위치로 이동한 후 버전스 각도(vergence angle)를 이용하여 실시간으로 오브젝트의 절대거리를 측정하는 효과적인 시스템을 제안하였다. 객체까지의 거리는 교차식 카메라를 적용한 스테레오 비전 시스템을 사용하여 삼각측량의 방법으로 거리를 측정하였다. 실험결과 객체에 대한 거리 측정 오차가 평균 2% 나타남으로써 제안한 알고리즘을 이용한 이동객체의 거리측정 가능성을 제시하였다.

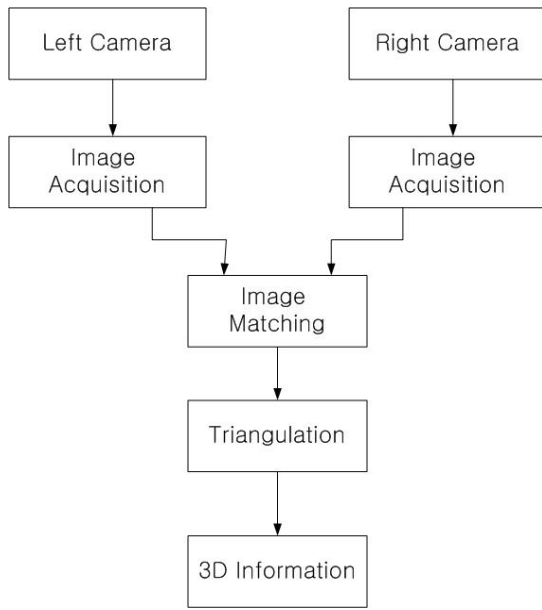
1. 서론

인간의 모든 정보의 70%정도를 눈에 의한 시각 작용에 의해서 정보를 획득한다는 사실로 보아 영상 입력처리 및 이해에 대한 지식의 필요성이 강조된다. 지금까지 컴퓨터 비전에 관한 연구가 활발히 진행됨에 따라서 2 차원의 단안 단서를 분석하는 연구가 활발히 진행되어왔다. 현재까지는 실시간 처리가 요구되는 시각 응용 시스템에서 단일 카메라(single camera)에 의한 영상처리를 통하여 얻어진 2 차원적인 정보에 대한 정보를 중요시 여겨 많은 응용 분야를 탄생시켰다 그러나 많은 응용분야에서 단안단서로는 충분하지 않음이 입증되었고 이에 양안 단서추출로 방향을 선회하여 많은 연구가 진행되고 있다. 한편, 최근 로봇 하드웨어시스템의 비약적인 발전으로 인하여 사람의 움직임을 유사하게 따라 하는 2족 보행 로봇과 여러 가지 응용 로봇이 발표됨으로써 비전 시스템의 중요성이 날로 커짐에 따라 입력된 영상을 처리하여 스스로 인식과 동작을 처리하고 주행하는 시각시스템을 요구게

되었다. 그리하여 기존의 접촉식, 비접촉식 깊이 측정 시스템이 사용하는 센서나 장비를 사용하지 않고 인간의 시각시스템을 흉내 낸 스테레오 비전 기법을 사용하여 실시간 거리측정이 가능한 시각시스템을 연구하게 되었다.

앞에서 언급한 3 차원 계측 기술의 접촉식 방법과 비접촉식 방법의 몇몇 종류와 특징을 살펴 보면 접촉식 방법은 탐침을 물체 표면에 접촉하여 3 차원 좌표를 계산하는 것을 말하는 것으로 정밀성은 우수하나 측정시간이 길다는 단점을 가지고 있다. 비접촉식 방법은 말 그대로 물체에 접촉 없이 초음파나 레이저, 광학장치 등을 이용하여 깊이를 측정하는 방법으로 측정 시간이 빠르며 고온이나 접촉 불가능한 물체에 대한 측정도 가능하다는 장점이 있다. 이러한 비접촉식 방법의 장점을 이용하여 개발된 몇 가지 거리 측정 방법들을 살펴보면 레이저를 주사하여 센서에 반사되어 오는 시간을 측정함으로써 거리를 측정하는 방법이 있다. 비교적 정확한 측정이 가능하나 15m 이상의 먼 거리에만 이용된다는 단점이 있다. 또 다른

예로는 깊이 정보를 알고자 하는 물체에 구조화된 빛을 주사하고 그 결과 물체의 표면에 나타난 패턴의 왜곡 정도를 분석하여 표면의 굴곡과 거리를 계산하는 방법이 있다. 비교적 간단하나 거리가 멀어지면 해상도가 떨어지고 실 세계에서 사용하기 어려운 단점이 있다. 모이레(Moire) 패턴을 이용하는 방법을 보면 비교적 정교하나 계산량이 막대하다는 단점으로 실시간 적용에는 한계가 있다.



(그림 1) 3D 정보추출 과정

컴퓨터 비전에서 거리 측정을 위한 방법으로 스테레오 카메라를 이용하여 서로 다른 위치에서 같은 장면을 찍은 두 개의 이미지를 가지고 대응점을 이용하여 부등(disparity)을 계산할 수 있다.[3] 이 계산된 부등을 가지고 두 카메라의 각도를 조절함으로써 삼각측량법을 이용하여 카메라의 위치로부터 물체까지의 거리를 정확하게 계산해 낼 수 있다.

스테레오 비전에서 해결해야 할 문제로는 크게 두 개로 나누어 볼 수 있다. 첫째로 전체적인 이미지에서 관심 있는 영역을 분리 해내는 것이 있다. [1][6] 둘째로 두 개의 이미지를 정확히 매칭 시키는 문제가 있다.[2][4] 본 연구에서는 레이저 포인터를 사용하여 물체분리의 문제는 차후에 연구하기로 하고 실시간 영상 매칭 문제를 위한 계산 량의 최소화와 그에 따른 정확도를 높이는 방법을 제시하고자 한다.

2 장에서는 영상에서 레이저 포인터 부분을 추출하는 방법에 대해 알아보고 3 장에서는 RGB 칼라 정보를 이용한 영역기반 스테레오 매칭과 4 장에서는 삼각측량을 이용한 거리계산법, 5 장에서는 실험 결과 및 향후 과제에 대해 살펴보고자 한다.

2. 레이저 포인터를 이용한 Object Recognition

스테레오 비전에서 object recognition 문제를 레이저

포인터를 사용하여 object 를 직접 지시하여 해결하였다. 레이저를 사용한 배경으로, 레이저는 간섭성이 우수하며 지향성이 좋고 스펙트럼 순도가 좋은 특징을 갖고 있다. 입력된 이미지로부터 다음과 같은 그림 2의 방법을 사용하여 레이저 포인터 부분 추출하였다.

```

Input : color image, ImL[x,y]
Output : Laser Pointer Range
r1 : Red;
g1 : Green;
b1 : Blue
for x:=0 to Height do
  for y:=0 to Width do
    r=(2*r1-(g1+b1)/2);
    if(r>350) then
      r = 255;
    else
      r = 0;
    end if
  end
end
    
```

(그림 2) 레이저 포인터를 찾는 알고리즘에 대한 의사코드

이미지의 회선을 통해 R, G, B 값을 조사하고 green 과 blue 값보다 red 값이 현저하게 높은 곳을 찾아 위치를 표시한다.

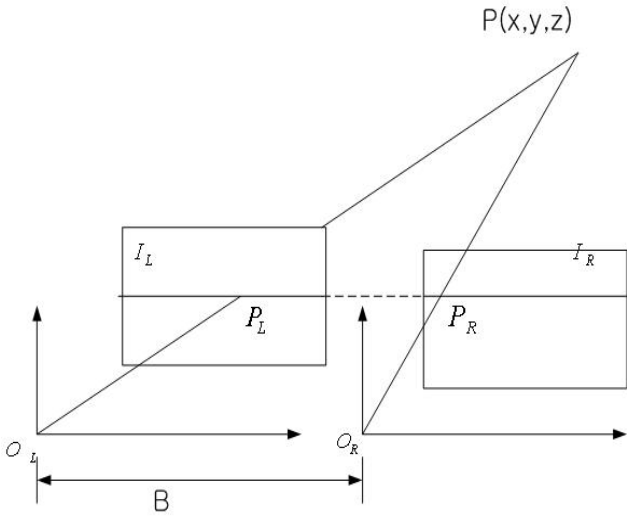
3. RGB 칼라 정보를 이용한 Scanline 영역기반 스테레오 매칭

스테레오 매칭(Stereo Matching)은 컴퓨터 비전의 핵심적인 연구 분야 중의 하나로서 삼차원 형상 복원(3D Reconstruction), 로봇 네비게이션(Robot Navigation), 영상기반 렌더링(Image Based Rendering) 등과 같은 다양한 응용 분야를 가지고 있다. 스테레오 매칭 문제에서는 두 장의 영상이 주어졌을 때, 기준 영상에 대한 변위 지도(Disparity map)을 계산하는 것이 관건이다. [4] 지금까지 매칭을 위한 수많은 알고리즘이 제안되었지만 아직까지 완벽한 매칭을 수행하는 알고리즘은 없다.

매칭 알고리즘으로는 크게 특징 기반 스테레오 매칭(feature-based stereo matching)과 상관관계를 기반으로 하는 스테레오 매칭(correlation-based stereo matching)으로 구분 된다.[4][5] 수많은 알고리즘 중에 스테레오 비전에서 일반적으로 많이 사용하는 매칭 알고리즘은 SSD(sum-of-squared differences), SAD(sum-of-absolute differences), 상관 매칭 등이며 이들은 다음과 같은 계산식에 의해 매칭을 결정한다.

$$SSD: \sum_{(u,v) \in wW} (I_1(u,v) - I_2(x+u, y+v))^2 \quad (2)$$

$$SAD: \sum_{(u,v) \in WW} |I_1(u,v) - I_2(x+u, y+v)| \quad (3)$$

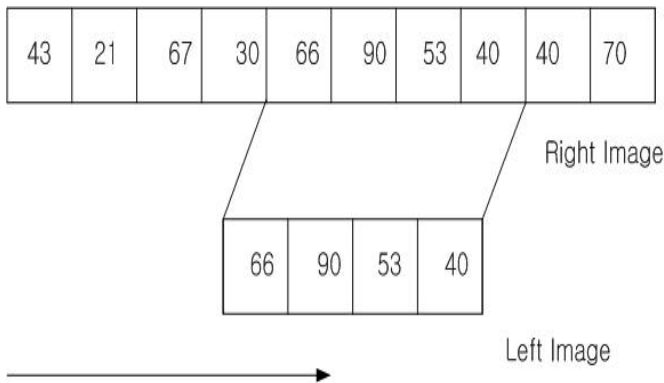


(그림 3) 스테레오 카메라 기하학
Fig 3 Parallel axis stereo geometry

스테레오 이미지에서 거리를 구하려면 이미지에서 서로 대응하는 점의 좌표를 알아야만 계산이 가능한다. 이런 문제를 대응 문제라고 한다. 스테레오 비전에서는 이러한 대응문제를 해결하기 위해서 상관 매칭이나 특징점 추출 등의 방법을 사용한다. 그러나 이런 방법도 다소 모호한 경우가 많아 매칭 문제를 결정하는데 에피폴라 라인(epipolar line)만을 탐색하는 구속요건을 사용한다. [7]

대응 문제를 해결하기 위한 에피폴라 기하학에서 대응점을 탐색하는데 광축이 평행한 카메라는 그림 3과 같이 에피폴라 라인이 이미지 평면에 수평으로 나타나므로 본 논문에서 제시하는 방법은 에피폴라 라인을 따라 중간에 5 개의 수평주사선을 뽑아 평균을 매칭하는 방법을 사용하였다.

SAD(sum of absolute differences) (3) 의 방법을 사용하여 기준 카메라의 중심 윈도우를 다른 이미지에 회전하여 최소값을 가지는 지점을 대응점으로 계산하여 disparity 를 계산하여 카메라를 이동시켰으며 그림 4는 영역기반 매칭 방법을 보여준다..

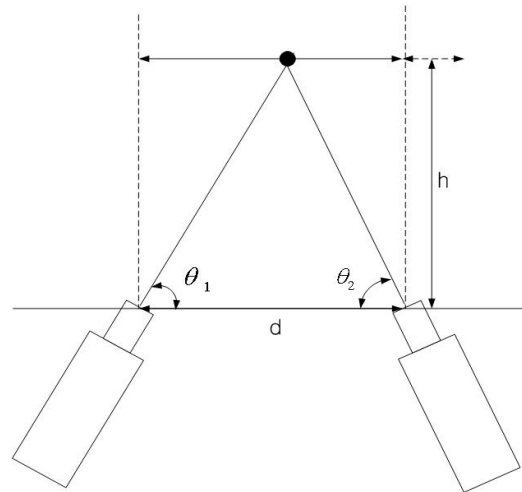


(그림 4) 영역기반 매칭

4. 삼각측량을 이용한 거리계산

스테레오 카메라를 이용한 깊이 측정 시스템은 평행식과 교차식으로 크게 나뉜다. 평행식 방법은 카메라 두 대를 평행하게 놓고 두 카메라와의 거리정보 d와 카메라의 초점거리(focal length), 두 영상의 부등의 정보를 가지고 거리를 계산하는 방법이다. 하드웨어 컨트롤이 필요 없고 단순하기 때문에 많이 쓰이는 방법이다. 교차식 구성 방법은 그림 5 과 같이 카메라의 각도를 바꾸어 정합하는 방법으로 3D 이미지 복원에 유리한 장점이 있다. 두 개의 카메라에서 입력 받은 영상을 앞에서 말한 영역 기반 매칭 방법으로 정합시킨 후 좌,우 모터의 엔코더(encoder) 값을 읽어 θ_1 과 θ_2 값을 얻을 수 있고, 좌우 카메라의 거리 d를 알고 있으면 다음과 같이 식(5)에 의해 물체와의 거리를 계산할 수 있다.

$$h = \frac{d}{\tan(90^\circ - \theta_1) + \tan(90^\circ - \theta_2)} \quad (5)$$



(그림 5) 스테레오 카메라 기하학
Fig 2 Geometric schematic of the stereo camera



(그림 6) 스테레오 비전 시스템 사진

5. 실험 및 결과

1) 실험 환경

본 연구에서 사용된 스테레오 카메라 시스템은 시스템전체 구동(좌우,상하)에 2 상 스텝모터를 사용하였고 양쪽의 스테레오 카메라에는 정밀도가 우수한 알파 스텝모터를 사용하였다. 그리고 두 대의 스테레오 카메라에는 USB 방식의 로지텍 웹캠을 사용하였다. 전체 시스템 구동 어플리케이션 프로그램은 C++을 이용하였고 System 사양은 P4-1.5GHz, Memory-512M 를 사용하였다. 아래의 그림 7 은 입력영상을 캡처한 사진이다.



(그림 7). 입력된 24bit color image (a)left camera image (b)right camera image

<표 1> 거리측정 데이터

	실제 거리	측정 값	오차율
1	560mm	598.94mm	6.9%
2	670mm	697.7mm	4.1%
3	700mm	712.4mm	1.7%
4	750mm	761.5mm	1.5%
5	900mm	893.54mm	0.7%
6	1200mm	1192mm	0.6

6. 결론

본 논문은 기존의 2 차원 정보로는 파악할 수 없었던 깊이 문제를 스테레오 비전의 버전스 각도를 이용함으로써 다른 적외선 센서와 같은 별도의 장비를 이용하지 않고 깊이뿐만 아니라 실시간으로 절대 거리까지 판단하여 휴먼 로봇과 같은 분야에 응용을 할 수 있도록 하였다. 또한 실시간 움직임 감지와 물체에 대한 거리측정 및 속도와 위치변화를 측정할 수 있도록 만들었다. 측정 시 나타나는 오차는 시스템 설치 시에 나타난 오차로 인해 문제가 생길 수 있고 측정 물체와 카메라의 거리가 가까울수록 양쪽 카메라의 각도가 작아짐으로써 두 카메라 사이의 거리에도 미세한 변화가 생기므로 이 값을 보정해줄 필요가 있다. 현재 웹캠을 사용하여 실험을 하였지만 차후에 좀더 좋은 해상도를 가진 카메라를 이용함으로써 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 그리고 좀더 복잡하고 다양한 깊이를 갖는 배경에서의 빠르고 강건한 매칭

을 연구할 필요가 있다. 앞으로 시각주의 시스템 등을 적용하여 영상에서 관심 있는 부분을 스스로 판단하고, 어안 렌즈 등을 적용하여 더 많은 단서를 얻을 수 있는 시스템에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

현재 연구중인 스테레오 비전을 이용한 실시간 거리측정 시스템은 활발히 연구되고 있는 로봇분야에 활용도가 높을 것으로 기대된다. 자율주행로봇이 기타 다른 센서를 의지하지 않고 2 개의 카메라만을 이용 정확한 거리를 산출하여 움직일 수 있을 것이며 앞으로의 로봇이 대중화 되는 시점에서 값싼 CCD 카메라를 가지고 여타 기능의 센서들을 모두 대체할 수 있다면 경제적 효율 면에서도 월등할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] J.Driver & G. C. Baylis, ‘Attention and Visual Object Segmentation’ in The Attentive Brain, 1998.
 [2] Katheleen M.Mutch, ”Determining Object Translation Information Using Stereoscopic Motion”, IEEE Transactions on Pattern analysis and Machine Intelligence, Vol PAMI-8, November, 1986.
 [3] 정찬섭, 김정오, 도경수, 박권생, 박창호, 김유진, 남종호 “감각과 지각”, 시그마 프레스, 1999
 [4] M.Bennamoun, G.J. Mamic “Object Recognition”, Springer, 2001
 [5] B.jahne, H.HauBecker, P.Geibler, HANDBOOK OF COMPUTER VISION AND APPLICATION,
 [6] L.Itti, C.Koch, A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. Vision Research40(10-12),pp.1489-1506, 2000
 [7] David A. Forsyth and Jean Ponce ‘Computer vision A modern approach’, PrenticeHall, 2002.