

# 액티브 포커싱을 이용한 3차원 물체의 깊이 계측

## (Active Focusing Technique for Extracting Depth Information)

李 龍 洙,\*\* 朴 鍾 勛,\* 崔 宗 秀\*

(Yong Soo Lee, Jong Hoon Park, and Jong Soo Choi)

### 要 約

본 논문에서는 2차원 영상으로부터 3차원 물체의 깊이를 계측하기 위해 카메라 거리계의 선형 운동과 그때의 초점 거리를 이용하는 새로운 접근법을 제안한다. 이 방법은 카메라의 거리계, 즉 렌즈로부터 영상면까지의 거리를 카메라가 허용하는 범위에서 일정 간격씩 전진시켜가며 얻어진 복수개의 영상으로부터 선명하게 초점이 맞은 윤곽선을 추출하고, 추출된 윤곽선의 거리정보를 카메라의 거리계를 이용하여 얻는다. 본 방법은 정교하고 복잡한 카메라 구동 장치와 초점을 찾아가는 알고리즘이 필요없으며, 카메라 거리계의 선형 운동만으로 장면내의 모든 물체의 거리정보를 계측할 수 있다는 장점을 가진다. 모의 실험을 통해 추출된 거리 정보는 약 1m와 2m 사이에서 실제 물체 거리의  $\pm 5\%$ 내에 있음을 알 수 있었으며, 실제 실험을 통해, 본 기법을 3차원 물체의 거리 정보 계측에 이용할 수 있다는 가능성을 검증하였다.

### Abstract

In this paper, a new approach-using the linear movement of the lens location in a camera and focal distance in each location for the measurement of the depth of the 3-D object from several 2-D images-is proposed. The sharply focused edges are extracted from the images obtained by moving the lens of the camera, that is, the distance between the lens and the image plane, in the range allowed by the camera lens system. Then the depth information of the edges are obtained by the lens location. In our method, the accurate and complicated control system of the camera and a special algorithm for tracing the accurate focus point are not necessary, and the method has some advantage that the depth of all objects in a scene are measured by only the linear movement of the lens location of the camera. The accuracy of the extracted depth information is approximately 5% of object distances between 1 and 2m. We can see the possibility of application of the method in the depth measurement of the 3-D objects.

\*正會員, 中央大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Chungang Univ.)

\*\*正會員, 三星電子  
(Samsung Electronics)

接受日字: 1991年 7月 8日

(※ 本研究는 韓國科學財團 課題番号 890113  
연구로 이루어진 것임.)

### I. 서 론

2차원 영상에서 3차원 물체의 정확한 깊이 계측은 컴퓨터 시각(Computer Vision) 분야에서 장면의 재구성 및 물체 인식과 해석등의 목적을 위해 필수적이고 중요한 과제이다. 현재까지 Stereopsis, Range Finder, Shope From X와 Focusing 등의 많은 연구

가 이루어 지고 있고 부분적이거나 성과를 거두고 있다.<sup>1,2)</sup>

인간은 실로 다양한 형상계측 능력을 보유하고 있으며, 특히 단안시를 근간으로 거리계측을 위해 여러 가지 방법들을 사용한다. 이는 한 눈만을 가진 사람이 거리를 계측하여 넘어지지 않고 걸어갈 수 있다는 것을 보면 알 수 있을 것이다. 그 이유중 하나가 인간은 영상의 불선명도 투시[원근] 화법(unsharpness perspective)을 이용하고 있다는 것이다. 영상의 불선명도 투시[원근] 화법이란 인간의 시각 모델에 있어 정확히 초점이 맞는 부분만 선명히 나타나며, 그로부터 거리가 떨어져 있는 부분은 흐려지게 보이는 현상을 말하며 이는 사진을 많이 접해본 사람들에게는 매우 친근한 사실이다.

본 논문에서는 이처럼 카메라 특성과 밀접히 연관된 초점(focus)에서의 깊이 계측 방법에 관해 논해 보고자 한다. 초점을 이용하는 거리 계측 방법은 카메라 외의 조명 장치, 혹은 기타 부수적인 장치가 필요 없으므로, 실외 장면에서의 거리 정보 계측에서도 유용하게 사용될 수 있는 수동적인 거리 계측 방법(Passive Approach)이며, 양안시(Stereo) 방법에서 나타나는 정합(Correspondence)의 어려움도 존재하지 않는다는 장점을 가지므로 컴퓨터 시각 분야에서 매우 유용한 방법이다. 그래서, 거리 계측을 위해 초점을 이용하고자 하는 일련의 연구가 이루어져 왔으며, 이러한 연구들은 연구 방향에 따라 두 가지로 구분해 볼 수 있다. 그 첫번째 방법은 영상 점(image point)들의 흐려짐 정도로 부터 거리 정보를 구하고자 하는 노력이다.<sup>3,4,5,6)</sup> 이것은 두장 정도의 영상만으로 물체의 거리를 구할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 이 방법에 있어서 문제점은 장면내의 각 점들의 흐려짐 정도를 정확히 구해내기가 어렵다는 것이다. 영상에서 흐려짐 정도는 실세계의 거리 변화뿐 아니라, 물체와 카메라의 특성 혹은 촬영 환경에 의해서도 영향을 받을 수 있기 때문이다. 그 두번째 방법으로 자동 초점 기법(automatic focusing)과 연관된 거리 계측 방법이 있다.<sup>7,8,9)</sup> 이 방법은 거리를 구하고 싶은 3차원 물체의 한 점을 미리 정해두고, 카메라 거리계를 반복하여 왕복운동 하면서, 그 점에 가장 선명하게 초점이 맞추어지는 위치를 찾아내어 그때의 거리계 운동량으로 부터 그 점의 거리 정보를 추출해 낸다.<sup>8,10)</sup> 그러므로 원하는 3차원 공간상의 한 점에 대한 거리정보를 정확히 구해낼 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 거리가 측정되기 전에 미리 그 목표점을 정해주어야 하며, 그 목표점에 자동적으로 초점을 맞추기 위해 정교하고 복잡한 카메라 구동

장치와 선명한 초점을 찾아나가기 위한 별도의 탐색 알고리즘을 필요로 한다. 일례로 Krotkov는 목표점을 수동적으로 정하여 준 다음, Servo-Control Video Camera를 이용하였으며 선명한 초점을 찾기 위해 Fibonacci 탐색 기법을 도입하였다.<sup>11)</sup> 그러나 이러한 모든 조건이 충족된다 하더라도 한번에 미리 정해진 한 점의 거리밖에는 추출할 수 없으므로, 컴퓨터 시각 분야로의 광범위한 응용은 사실상 어려운 일인듯 하다. 그러므로 좀 더 단순한 카메라 구동만으로 실세계 장면 내에 존재하는 모든 물체의 거리 정보를 한꺼번에 추출할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는, 자동 초점 방법의 난점을 보완할 수 있는 새로운 능동적(Active) 거리 계측 기법을 제안한다. 즉 3차원 실세계에서 각 물체의 거리를 계측하기 위해 카메라의 거리계를 가장 가까운 곳에서 가장 먼곳까지 일정 간격으로 변화시켜 가면서 그때의 초점이 맞추어진 각 점들의 거리 정보를 추출해 나가는 방법이다. 이렇게 가까운 곳에서 먼 곳으로 초점 거리를 단계적으로 바꾸어 나갈 때 초점이 맞추어진 부분의 각 점들은 선명한 에지를 보일 것이고 그와 거리가 떨어져 있는 부분의 점들은 흐려진 상태가 된다. 그러므로 카메라가 어떤 한 초점 거리에 맞추어졌을 때 얻어진 영상에서 선명한 에지만을 추출할 수 있다면, 그 에지들은 그때의 카메라의 거리계를 이용하여 즉시 구할 수 있게 된다.

본 기법은 자동 초점 방법에서와 같이 물체의 한 점에 초점을 정확히 맞추기 위한 노력은 필요없다. 단지 단순한 카메라 전진 운동만을 필요로 하므로 카메라 시스템의 구현이 쉽다. 또한 장면내의 모든 물체에 대한 거리 계측을 단계적으로 행하게 되므로 환경의 제약을 적게 받으며 쉽게 거리 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 본 기법의 정확성은 거리별로 취득한 영상의 거리간격과 카메라 특성인 피사계 심도에 의존한다. 즉 영상취득의 거리간격을 세밀히 하면 그만큼 정확한 거리정보를 구할 수 있게 되며, 또한 카메라의 피사계 심도를 좁게하면 할수록 더욱 더 정확한 거리 정보를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 II장에서 영상의 불선명도 투시[원근] 화법(unsharpness perspective)에 관해 설명하고 III장에서는 능동적 거리 계측(active focusing) 방법에 관해 논한다. 또한 IV장에서는 선명한 에지를 추출하기 위한 방법에 대하여 기술한다. 마지막으로 V장에서는 본 방법을 위한 실험 과정과 그 결과를 설명하고 VI장에서 결론을 맺고자 한다.

## II. 영상의 不鮮明度 透視[遠析] 畫法 (Unsharpness Perspective)

3차원의 실세계 장면이 영상 입력 장치에 의해 2차원 영상으로 옮겨지면 거리 정보가 어떤 다른 형태로 변형되거나 유실되게 된다. 흔히 이를 영상의 투시[원근] (perspective)이라 하는데, 본 논문에서는 이러한 현상들 중 하나인 영상의 불선명도 투시 화법(unsharpness perspective)에 관해 논하고자 한다.

대부분의 생물학적 렌즈 시스템은 렌즈로부터 장면(scene)까지 일정한 반경의 거리에 정확하게 초점이 맞추어진다.<sup>13,14)</sup> 3차원 공간에서 정확하게 초점이 맞추어진 점의 위치는 대체로 카메라로부터 같은 거리에 있는 구의 표면을 형성한다. 물체가 장면에서 이 구 표면과 교차하면 그 교차하는 부분이 정확히 초점이 맞추어진 결과가 된다. 그리고 정확한 초점 맞추어진 면으로부터 물체가 멀어지면 흐려짐이 일어난다. 그 흐려짐의 정도는 렌즈시스템의 특성과 초점 맞추어진 면과의 거리에 의해 영향을 받게 된다.

흐려짐 효과(blurring effect)는 가우스형 점 확산 함수(Gaussian Point Spread Function)로 설명될 수 있는데, 카메라에 의해 얻어지는 영상  $G(x, y)$ 는 원 영상  $I(x, y)$ 와 점 확산 함수(Point Spread Function)  $h(r, \sigma)$ 와의 컨볼루션(Convolution) 형태로 나타낸다.<sup>11,12)</sup> 즉

$$G(x, y) = I(x, y) * h(r, \sigma) \quad (1)$$

로 주어지고, 여기서

$$h(r, \sigma) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

와 같이 된다.

여기서  $\sigma$ 는 흐려짐의 정도를 결정지우는 척도가 되며 이는 카메라의 특성( $F, f$ )과 물체의 카메라간의 거리  $D$ 에 의해

$$\sigma = \frac{V_0 D - Fd - FV_0}{fD} \quad (3)$$

로 주어진다.<sup>11,12)</sup> 여기서  $V_0$ 는 렌즈로부터 영상면(image plane)까지의 거리이며,  $D$ 는 카메라 렌즈로부터 실세계 장면의 한 점까지의 거리이다. 그리고 카메라 특성인  $F$ 는 초점 거리(focal length)이다.  $f$ 는 카메라의 f\_number로써

$$f = \frac{F(\text{focal length})}{d(\text{diameter of Lens})} \quad (4)$$

이다. 즉 f\_number는 렌즈의 직경과 초점이 무한대일 때의 영상면과 렌즈사이의 거리(focal length)의 관계를 말한다.

이상과 같이 초점이 맞은 곳의 물체는 선명하게, 그렇지 않은 물체는 뿌옇게 보이는 현상을 영상의 불선명도 원근화법(unsharpness perspective)이라 하며, 이러한 현상이 영상의 원근감을 좀 더 고조시킨다. 카메라의 특성과 이 불선명도 원근화법을 적절히 이용한다면 3차원 형상 및 깊이 계측에 있어 한 가지 좋은 방향이 될 수 있을 것이다.

### III. 능동초점 기법(Active Focusing Technique)

위에서 살펴본 바와 같이 영상의 불선명도 원근화법은 3차원 형상 및 깊이 계측에 유용하게 이용될 수 있다. 본 논문에서 제안하는 능동초점(Active focusing) 기법은 그 한 가지 방향이라 생각할 수 있다.

#### 1. 피사계 심도(Depth of field)

얇은 렌즈(thin lens)에서 그 초점거리, 렌즈 및 물체간의 거리에는 다음의 렌즈 방정식(lens formular)

$$\frac{1}{U} + \frac{1}{V} = \frac{1}{F} \quad (5)$$

의 관계로 나타낼 수 있다. 여기서  $U$ 는 물체의 한 점과 렌즈사이의 거리를,  $V$ 는 렌즈와 영상면(image plane) 사이의 거리를 각각 나타내며,  $F$ 는 초점거리(focal length)이다. 식(5)에서 알 수 있듯이 물체가 무한대의 거리에 있을 때, 즉  $U = \infty$ 일 때  $V = F$ 가 되어, 초점거리는 렌즈로부터 영상면까지의 거리가 된다.

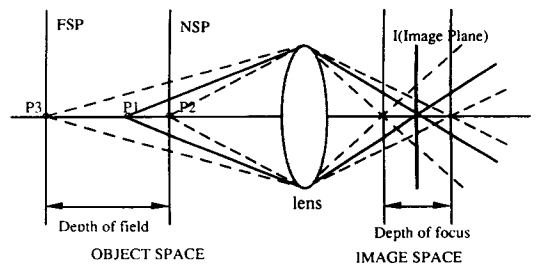


그림 1. 피사계 심도와 초점의 심도  
Fig. 1. Depth of field and depth of focus.

또한 카메라의 특성 중, 카메라가 실세계 물체의 한 점에 초점이 맞추어졌을 때 선명하게 보이는 얼마간의 영역이 존재하며, 이 영역을 피사계 심도(depth of field)라고 한다. 그림1은 렌즈와 실세계 그리고 영상면의 관계를 보여주고 있으며, 여기서 초점이

P1에 있을 때 초점이 맞은 거리는 P2에서 P3 까지의 거리를 말한다. 여기서 P2, 즉 NSP(nearest sharp plane)와 P3, 즉 FSP(farthest sharp plane)는

$$NSP = \frac{H \cdot D}{H + (D - F)}, \quad FSP = \frac{H \cdot D}{H - (D - F)} \quad (6)$$

로 주어진다. 여기서 D는 초점이 맞추어진 점과 렌즈까지의 거리, F는 초점거리를 나타낸다. 또한 H는 Hyper-focal Distance로써 렌즈가 무한대에 초점이 맞추어져 있을 때의 선명하게 보이는 가장 가까운 거리를 나타낸다. 이는 카메라 렌즈 특성에 관계하게 되며

$$H = \frac{F^2}{f} \cdot \frac{1}{c} = \frac{F^2}{fc} \quad (7)$$

의 관계를 가진다. 여기서 c는 circle of confusion으로써 실세계의 대상점(object point)이 영상면에 비추어질 때 영상의 최대 직경을 나타낸다. 이는 렌즈의 특성으로 볼 수 있다. 따라서 피사계 심도(Depth of field)는 결국 카메라의 특성과 물체와 렌즈 사이의 거리에 의해 좌우된다.

2. 능동 초점 거리 계측 기법(Active focusing depth measurement technique)

앞의 식(5)는 렌즈 방정식으로서 초점거리, 물체와 렌즈 사이의 거리, 그리고 렌즈와 영상면과의 거리에 대한 관계식이다. 거리 D를 가지는 점에 정확히 초점이 맞추어 졌다고 가정하여 식(5)를 다시쓰면

$$D = \frac{FV}{V - F} \quad (8)$$

과 같게 되는데, 일반적으로 초점거리 F는 각 렌즈에 있어서 고유한 상수값이며 또한 V는 영상 면과 렌즈사이의 거리이다. 그리고 D는 초점이 맞추어진 3차원 공간상의 한점과 카메라 렌즈사이의 거리로서, 본 논문에서는 focused distance라 정의한다.

능동 초점 기법(Active focusing)에서는 물체와 렌즈간의 거리를 구하기 위해 일정한 거리 간격(ΔD)을 가지는 몇개의 영상이 얻어진다. 그 영상들은 렌즈로부터 영상 면간의 거리V를 카메라가 허용하는 가장 작은 거리로부터 어느정도 거리까지 증가시켜 가며 얻는다. 이 때, V<sub>i</sub>(현재 영상에서 렌즈와 영상면사이의 거리)로부터 다음 영상을 얻기 위한 V<sub>i+1</sub>는 미리 정해진 ΔD와 현재의 D<sub>i</sub>값에 의해 식(9)와 같이 얻어진다.

$$V_{i+1} = \frac{D_{i+1} \cdot F}{D_{i+1} + F} = \frac{(D_i + \Delta D) \cdot F}{D_i + \Delta D} \quad (9)$$

이렇게 얻게 되는 영상들은 초점이 맞추어진 선명한 에지들을 포함하게 되는데, 그 선명한 에지들을 Sharply Focused Edge라고 정의하며, 이들 SFE들의 거리는 그 영상의 D값에 의해 계산되는 피사계 심도 NSP와 FSP사이의 값을 가지게 된다.

즉, 각 영상에서 얻어진 SFE들은 NSP ≤ Depth of SFE ≤ FSP 범위의 거리값을 가지게 된다. 이러한 이유로 능동 초점 방법을 이용하여 세밀하고 정확한 깊이 정보를 얻기 위해서는 카메라의 피사계 심도를 되도록 좁게 해주어야 한다. 그림2는 focused distance와 카메라 사이의 관계를 보여준다.

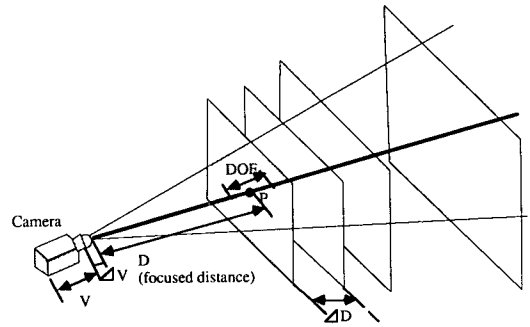


그림 2. Focused distance와 카메라의 관계  
Fig. 2. The relation between focused distance and camera.

IV. 에지 선명도에 의한 SFE 추출

정확한 거리 계측을 위해서는 SFE의 정확한 추출이 필수적 요건이다. 본 논문에서는 윤곽선 추출을 위해 에지 선명도(edge sharpness[acutance])를 이용한다. 에지 선명도(edge sharpness)는 에지의 모양에 관한 함수이며, 영상에서의 윤곽선은 그림3과 같이 나타난다.

선명치 않은 윤곽선은 날카로운 능선을 가지지 못하고 점차적으로 변화하는 양상을 보이며 선명한 윤곽선은 급격한 절벽을 이루며 변화한다. 이러한 날카로움의 정도를 에지 선명도(edge sharpness)라는 척도로써 나타낼 수 있다.

그 선명도는 다음과 같이 그래디언트의 제곱 평균(mean square gradient) 형태로 정의된다.<sup>[11]</sup>

$$A = \int_a^b \left(\frac{df}{dx}\right)^2 dx / [f(b) - f(a)] \quad (10)$$

선명도는 선명치 못한 윤곽선(blurred edge)의 두께에 반비례 하며, 선명한 윤곽선(sharp edge)은

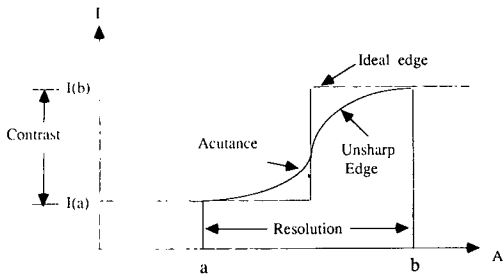


그림 3. 불선명 윤곽선 및 선명도

Fig. 3. Unsharpness edge and it's acutance.

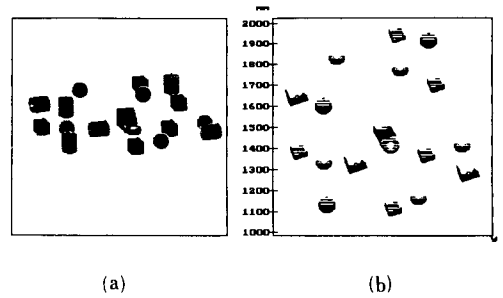
날카로운 절벽을 이루므로 위의 식(10)에 의해 추출될 수 있다.

본 논문에서는 한 영상에서 초점이 맞은 윤곽선(SFE)만을 추출하고 초점이 맞지 않은 흐릿한 윤곽선들은 제거되어야 한다. 물체의 한 점은 정확히 초점이 맞추어져 있을 때 가장 큰 선명도값을 가진다. 그러므로 먼저 각각의 focused distance마다 각 영상점(image point)들에 의해 각기 4방향( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ )으로의 선명도를 구하며, 그 중 최대값을 가지는 방향과 선명도를 그 점의 에지 방향과 선명도로 한다. 그 다음 한 영상점에 대해서 각 focused distance마다 측정된 선명도값 중 일정 문턱치(threshold value)를 넘으며 가장 큰 값을 가진 것을 그 때의 focused distance에서 초점이 맞추어져 있다고 판정한다. 이렇게 해서 영상에서의 흐릿한 윤곽선들은 제거되고 초점이 맞은 선명한 윤곽선(SFE)만을 추출할 수 있다. 현재 SFE를 얻기 위한 문턱치는 실험을 통하여 가장 적당한 값을 고정하여 두었으나, 영상의 명암 분포에 따라 자동적으로 가변하도록 하기 위한 연구가 좀 더 필요하다.

## V. 실험 및 결과

본 논문에서는 먼저 능동 초점법(active focusing)에 의한 거리 계측 방법의 정확도를 검토하기 위해, 이상적인 카메라 조건하에서 컴퓨터 모의 실험을 하였으며, 다음으로 우리의 거리 계측 방법을 실험적으로 검증하기 위해 실제 카메라 시스템을 사용하여 몇가지 실험을 행하여 그 결과를 보였다.

컴퓨터 모의 실험은 IBM PS/2 80상에서 C언어에 의해 행하여 졌으며 거리가 다른 여러가지 다면체의 인공 영상을 사용하였다. 그림4에 실험에 사용한 원 영상과 이들 다면체들이 가지고 있는 거리 분포도를 보인다.

그림 4. 실험에 사용한 (a)원영상 및 (b)거리 분포도  
Fig. 4. (a) original image, (b) depth map.

원 영상을 식(1)과 식(2)에 나타낸 바와 같이 거리에 따라 각기 다른  $\sigma$ 값에 의해 불초점화(blurring)시켜 카메라로 얻을 수 있는 영상, 즉 focused distance D가 일정 간격(1m부터 2m까지 50mm간격)으로 증가되도록 렌즈로부터 영상 면까지의 거리 V를 증가시키가면서 인공 영상들을 만들었다. 이때, 카메라 렌즈의 초점거리는 200mm, f-number는 2.0으로 하였다. 또한 카메라 특성인 circle of confusion C는 1/250 (inch)로 하였다. 이렇게 얻어진 영상들로부터 선명한 윤곽선들을 추출하기 위해 에지 선명도(edge sharpness)를 이용하였다. 영상의 각 점들은 focused distance마다 선명도가 측정되고 일정 문턱치 값을 넘으며 한 영상점에 대해서 가장 큰 값을 가진 윤곽선들만이 초점이 맞아 있다고 인정되어 SFE들로 추출된다. 여기서 문턱치 값을 실험을 거쳐 가장 적당한 값으로 설정한 것이다.

표1은 측정된 거리 및 상대 오차를 보여 준다. 여기서 절대 평균 거리(absolute mean distance)는 각각의 focused distance값과 그때 측정된 SFE 거리값들과의 절대값 평균을 의미한다. 여기서 가장 큰 절대 평균 거리 오차(absolute mean distance error)는 92mm이며, 가장 큰 상대 거리오차(relative distance error)는 4.72(%)이다. 우리는 모의 실험을 통해 추출한 SFE의 거리는 1m와 2m 사이에서 물체 거리의  $\pm 5$ (%)내의 정확도를 가짐을 알 수 있으며, focused distance가 커지면서 DOF(depth of field)값도 커지고, 또한 DOF값이 커지면서 SFE의 상대 Error값도 대체적으로 커짐을 알 수 있다. 그림5는 각 거리에 따라 추출된 SFE들을 모두 한장의 영상에 모아서 그 윤곽선 및 거리 분포도를 보여준다.

실제 본 방법을 실험적으로 검증하기 위해 focal\_length가 50mm렌즈인 CCD카메라를 사용하

표 1. 측정된 거리 및 상대오차

Table 1. Measured distances and the relative error.

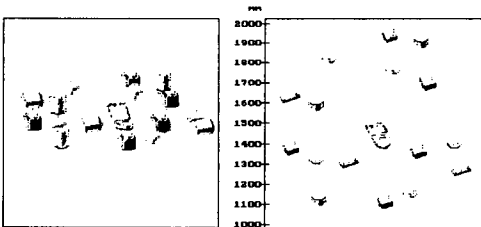
Focused Distance (mm)	Abs. Mean Distance Error (mm)	Relative Distance Error (%)	Depth of Field (mm)	Relative DOF Error (%)
1000	---	-----	10	1.02
1050	---	-----	11	1.07
1100	11	1.00	12	1.12
1150	17	1.48	13	1.17
1200	---	-----	14	1.22
1250	10	0.80	15	1.27
1300	9	0.69	17	1.32
1350	15	1.11	18	1.37
1400	28	2.00	19	1.42
1450	24	1.66	21	1.47
1500	16	1.07	22	1.53
1550	26	1.68	24	1.58
1600	16	1.00	26	1.63
1650	37	2.24	27	1.68
1700	20	1.18	29	1.73
1750	28	1.60	31	1.78
1800	9	0.50	32	1.83
1850	56	3.03	34	1.88
1900	12	0.63	36	1.93
1950	92	4.72	38	1.98
2000	78	3.90	40	2.03

에 놓고, 실험2에서는 113, 128, 159, 188cm에 놓고 실험하였다. 그리고 마지막으로 실험3에서 실험세계의 모형을 100, 132, 152, 173cm에 놓고 실험하였다. 우리가 여기서 구한 SFE의 depth(focused distance) 값은 피사계 심도 만큼의 오차를 포함하고 있으며, 이때의 피사계 심도의 범위를 그림6에서 보여준다. 그리고 그림7, 8, 9에서 각각의 입력 영상과 그 때의 focused distance에서 우리가 구한 SFE를 보이며, 이것을 모두 모아서 윤곽선(SFE)의 거리를 높이(1m에서 2m사이)로 나타낸 것이 그림10, 11, 12이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 3차원 물체의 형상 및 깊이 정보 계측을 위한 새로운 기법을 제안하였다. 능동 초점 기법(active focusing)은 영상 입력 장치인 카메라의 특성과 관련된 초점을 이용한다. 먼저 카메라의 거리계, 즉 렌즈로부터 영상 면(image plane)까지의 거리를 카메라가 허용하는 가장 가까운 거리로부터 가장 먼 거리로 일정 간격씩 변화시켜가며 얻은 영상들로부터 윤곽선의 선명도(edge sharpness)를 이용하여 SFE(sharply focused edge)들을 추출한다. 추출된 윤곽선들의 거리 정보는 카메라의 거리계, 카메라 특성인 focal\_length, hyper\_focal distance, 그리고 circle of confusion 등을 이용하여 얻을 수 있다. 이때의 거리정보 D는 피사계 심도(depth of field) 즉 NSP와 FSP사이의 범위를 가지게 된다.

본 기법은 자동 초점 방법에서의 난제를 매우 단순한 방법으로 해결할 수 있다는 점에서 그 효용성



(a) (b)

그림 5. 추출된 (a)윤곽선 및 (b)거리분포도  
Fig. 5. (a) SFE, (b) depth map.

여 실험을 행하였다. 실험에 사용한 영상은 256\*256의 해상도를 가지며 256명암도를 가진다. 우리는 피사계 심도를 좁히기 위해 f\_number는 1.4로 하였고, 또한 focused distance는 각각 100, 110, 130, 150, 180cm로 하였다. 그 이유는 focused distance 간격을 그보다 더 좁게 하면 피사계 심도(depth of field)가 겹쳐져 있기 때문에 이를 막기 위함이다.

실험1에서 직사각기둥 4개를 110, 130, 150, 180cm

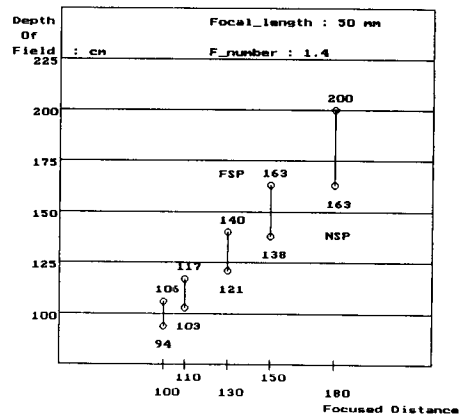
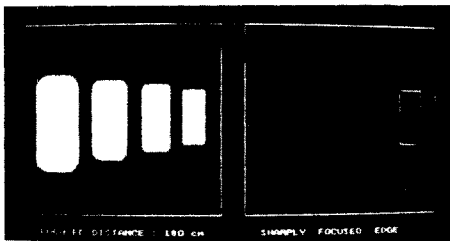
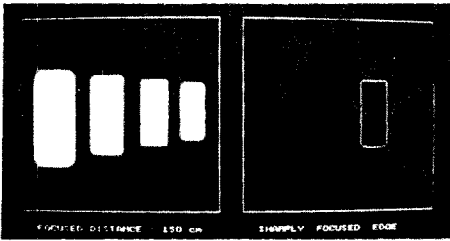
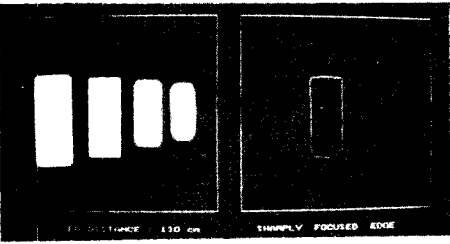
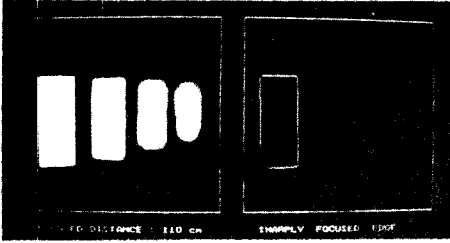
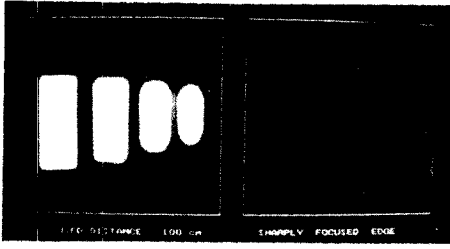
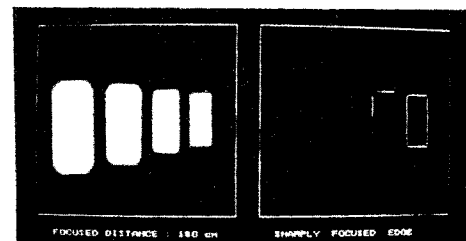
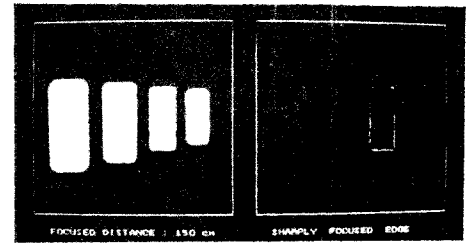
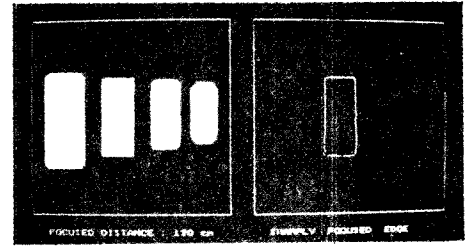
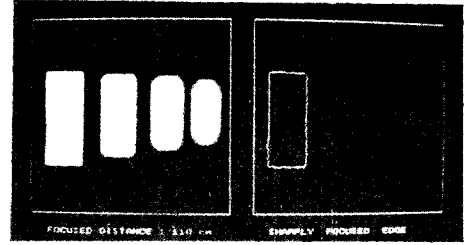
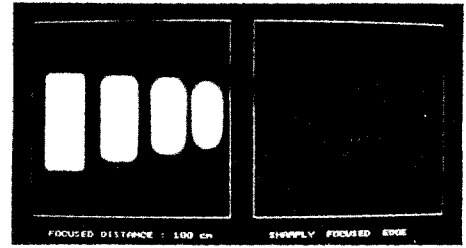


그림 6. 피사계 심도  
Fig. 6. Depth of field.



(a)

(b)

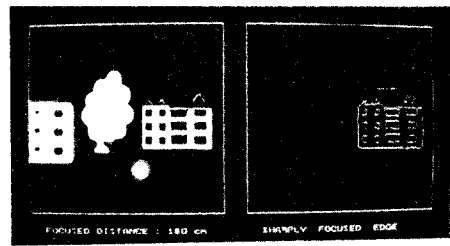
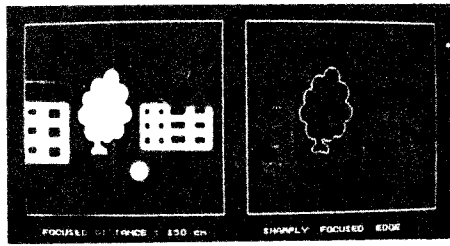
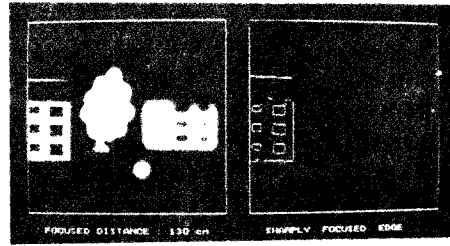
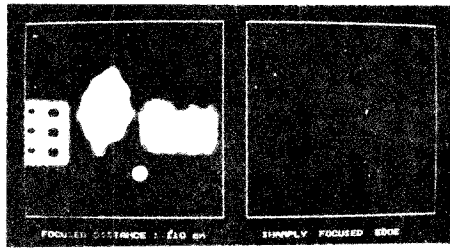
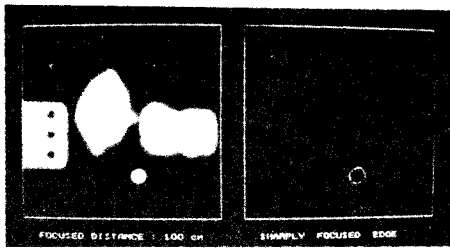


(a)

(b)

그림 7. (a) 취득 영상 및 그때의 (b) SFE(실험1)  
 Fig. 7. (a) acquired image, (b) SFE(experiment 1).

그림 8. (a) 취득 영상 및 그때의 (b) SFE(실험2)  
 Fig. 8. (a) acquired image, (b) SFE(experiment 2).



(a)

(b)

그림 9. (a) 취득 영상 및 그때의 (b) SFE(실험3)  
 Fig. 9. (a) acquired image,  
 (b) SFE(experiment 3).

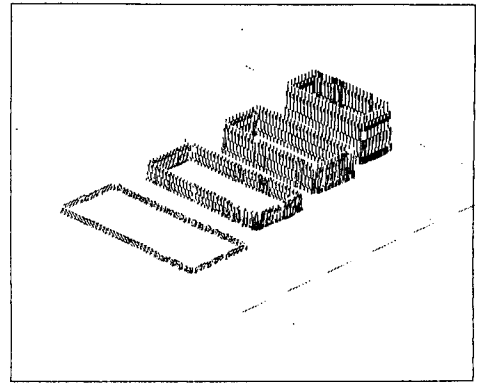


그림10. SFE의 거리(실험1)  
 Fig.10. The depth of SFE(experiment 1).

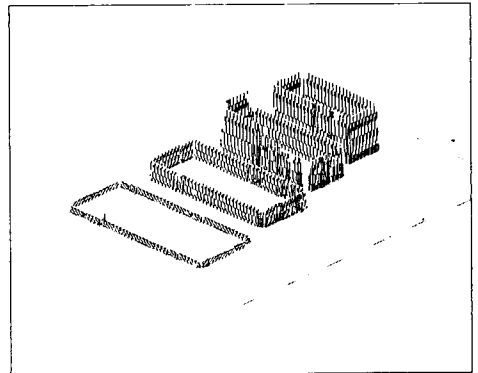


그림11. SFE의 거리(실험2)  
 Fig.11. The depth of SFE(experiment 2).

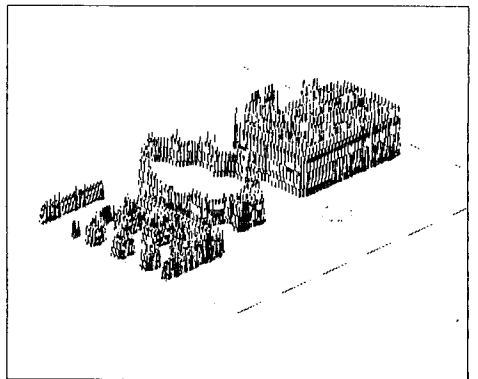


그림12. SFE의 거리(실험3)  
 Fig.12. The depth of SFE(experiment 3).



을 찾을 수 있다. 즉 카메라의 거리계는 단순한 전진 운동만을 요구하며, 움직이는 카메라 거리계에 따라 샘플되어 얻어진 영상들로부터 선명히 초점 맞추어진 장면내의 모든 점들에 대한 거리정보를 빠른 시간내에 찾아낼 수 있다. 그러므로 무인 자동차에서의 거리 계측이나 그 외의 대략적 거리정보를 요하는 여러가지 분야에서 기타 방법[4][7][8][9]에 비해 좀 더 유용하게 사용될 수 있으리라 생각한다.

그러나 본 기법은 카메라의 피사계 심도가 넓은 경우 거리 정보의 오차 범위가 커지므로 정확한 계측이 어렵다는 단점이 있다. 실제로 실험을 통해, 거리정보 D는 약 1m와 2m사이에서 실제 물체 거리의  $\pm 5\%$ 내의 정확도를 가짐을 알 수 있었는데, 이는 자동 초점 기법<sup>1)</sup>(2.5%)에 비해 다소 정확도가 떨어지는 것이다. 결국, 본 기법의 거리 정확도는 카메라의 피사계 심도와 영상을 얻는 샘플 간격에 좌우된다.

그러므로 거리정보의 오차를 줄이기 위해서는 피사계 심도를 좁혀줄 수 있는 카메라 시스템이 필요하다. 그리고 샘플 간격을 좁혀주면 거리 오차가 작아지나, 그만큼 많은 영상을 처리해야 하므로 trade-off의 관계를 가진다. 그러므로 샘플 간격은 쓰이는 용도에 따라 적절히 조절해야 할 것이다.

현재에는 실험을 위해 구현된 카메라 장치의 한계로 인해 세밀한 거리 정보 계측은 어려운 단계이다. 좀 더 정확한 계측을 위해서는 더욱 더 좁은 피사계 심도를 가지며, 세밀한 거리 간격으로 영상을 취득할 수 있는 카메라 구동장치의 실현이 필요하다. 마지막으로 본 논문에서 해결하지 못한 과제이며, 앞으로의 연구 방향으로 생각되는 점을 토론했다. 보고자 한다. 이는 초점을 이용하여 거리를 구하고자 하는 모든 연구에서 나타나는 공통적인 문제이며, 차후 많은 연구를 통해 해결되어야 할 중요한 문제라 생각된다. 첫째로 영상에 여러개의 물체가 함께 겹쳐 보여졌을 때, 각 물체들 간의 간섭에 의해 물체 윤곽 부분의 선명도가 잘못 추출될 수도 있다. 둘째로 여러 물체의 색깔이 서로 현저한 차이를 보인다면 선명한 윤곽선을 추출하기 위한 문턱치 처리가 난해하다. 또한 조명의 영향에 의해 선명도가 달라질 수도 있다. 본 논문에서는 각 물체들의 겹침과 색깔 차이에 의한 영향은 고려하지 않았으며, 조명의 영향을 최소화하기 위해 자연광을 사용하였다. 그러나 초점으로부터 거리 계측을 정확히 수행하기 위해서는 위의 세가지 문제들에 대한 고려가 있어야 하며, 추후 이에 대한 많은 연구가 필요하다.

## 參 考 文 獻

- [1] B.K. P. Horn, *Robot Vision*, Mc Graw-Hill Book Company, 1986.
- [2] D. Marr, *Vision*, Freeman, 1982.
- [3] A.P. Pentland, "A new sense for depth of field," *Proc. IJCAI*, Los Angeles, pp. 988-994, August, 1985.
- [4] A.P. Pentland, "A new sense for depth of field," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 9, no. 4, pp. 523-531, July, 1987.
- [5] P. Grossmann, "Depth from focus," *Pattern Recognition Letters* 5, pp. 63-69, Jan, 1987.
- [6] G. Garibotto & P. Storace, "3-D range estimation from the focus sharpness of edges," *Image Analysis And Processing II*. Plenum Press, pp. 321-328, 1988.
- [7] Jarvis, R.A., "A perspective on range finding techniques for computer vision," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 5, no. 2, pp. 122-139, March, 1983.
- [8] E. Krotkov and J.S. Wright, "Range from focus," *Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1093-1098, 1986.
- [9] E. Krotkov, "Focusing," *International Journal of Computer Vision*, vol. 1, no. 3, pp. 223-237, 1987.
- [10] M. Subbarao, "Parallel depth recovery by changing camera parameters," *Second International Conference on Computer Vision*, pp. 149-155, December, 1988.
- [11] E.L. Hall, *Computer Image-Processing and Recognition*, Academic Press, 1979.
- [12] 이용수, 박중훈, 장태규, 최종수, "액티브 포커싱을 이용한 3차원 물체의 깊이 계측," 제3회 신호 처리 합동 학술대회 논문집, 제3권 제1호, pp. 379-384, 1990년 9월.
- [13] 이용수, 박중훈, 장태규, 최종수, "액티브 포커싱을 이용한 3차원 물체의 깊이 계측," 한국통신 학회 춘계 종합학술발표회 논문집, 제10권 제1호, no. 1, pp. 96-101, 1991년 5월.

## 감사의 글

본 논문의 완성을 위해 많은 조언과 지원을 해주신 중앙대학교 제어계측공학과 장태규 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

— 著 者 紹 介 —



李 龍 洙 (正會員)

1964年 6月 11日生. 1989年 2月  
중앙대학교 전자공학과 졸업(공  
학사). 1991年 8月 중앙대학교  
대학원 전자공학과 졸업(공학석  
사). 1992年 2月 현재 삼성전자  
정보통신부문 근무. 주관심분야

는 컴퓨터 시각, 영상통신 등임.



朴 鍾 勛 (正會員) 第28卷 B編 第9號 參照

현재 중앙대학교 대학원 전  
자공학과 박사과정 재학중.  
주관심분야는 컴퓨터시각,  
인공지능 등임.

崔 宗 秀 (正會員) 第29卷 B編 第1號 參照

현재 중앙대학교 전자공학과  
교수. 주관심분야는 의용 영  
상처리, 컴퓨터 시각, 영상통  
신 등임.