

# 초음파와 카메라의 초점화를 이용한 거리측정 시스템 설계

## Design of Range Measurement Systems Using Ultrasound and Camera Focusing

문창수\*, 도용태\*\*

( Changsoo Moon\*, Yongtae Do\*\* )

**Abstract** - In this paper range measurement systems using ultrasonic and visual sensors are designed. By varying the focus of a camera, the range to a target pattern is computed. Four different methods are tested for the focusing-based range measurement. The best result is obtained when counting edge pixels found by Laplacian operator. Higher accuracy can be obtained by fusing the measurement of camera focusing with that of ultrasonic sensor. The system designed is experimented within the range of 300-450mm.

**Key Words** : TOF(time of flight), Ultrasound, Focusing, Sensor fusion, MLE(maximum likelihood estimation)

### 1. 서론

오늘날 카메라와 초음파 센서의 응용분야는 점점 다변화되어 공장자동화, 군사, 교통, 의학 등의 영역에서 광범위하게 이용된다. 특히 이 센서들을 이용한 거리측정은 3차원 물체의 관측 및 해석을 위해서 중요하다.

초음파를 이용한 거리의 측정은 공기 중에 음파의 비행시간(TOF)을 측정하는 방법이 가장 널리 사용되고 있다. 이 방법은 간단하고 빠르게 목표물까지의 거리를 측정할 수 있게 한다. 한 대의 카메라를 이용한 거리측정법은 초점화 비초점을 이용하는 방법으로 크게 나눈다. 초점화 사용하는 방법은 초점의 기준함수(criterion function)를 Laplacian, 푸리에 변환, 에지의 기울기, 밝기의 기울기(gradient) 등과 같은 방식으로 정의한 후, 이 값이 최대일 때의 거리값을 구하는 방법이 주로 사용된다[1,2]. 비초점화 사용하는 방법은 다른 렌즈 구경으로 얻은 두 장의 입력 영상을 이용하여 거리를 추정한다. 이 방법은 기존의 초점화 방법에 비해서 계산속도가 현저히 빨라지는 장점이 있으나, 영상 흐림 정도의 척도가 되는 PSF(point spread function)의 정확한 값을 구하기 어렵고, 기하광학적 회절 현상의 영향을 받는 문제점이 있다[3].

본 논문에서는 PC기반의 기기제어 및 영상처리부와 8-bit 프로세서에 의해서 제어되는 하드웨어부로 구성된 거리측정 시스템에 대해서 서술한다. 논문의 2장에서는 초음파 센서와 카메라의 초점화 사용하는 거리측정 방법들에 대해 간단히 기술하고, 3장에서는 실험 과정과 결과를 보이며, 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

### 2. 거리측정 시스템의 설계

#### 2.1 초음파 센서를 사용한 거리측정

초음파 거리 측정법은 초음파의 TOF를 측정하는 방식을 주로 사용한다. 그림 1과 같이 초음파를 발사한 시간부터 수신부에 반사파가 수신된 시간까지를 측정해 식(1)의 T를 얻을 수 있다.

$$L = C \frac{T}{2} \quad (1)$$

단, L은 거리, C는 초음파 속도, T는 TOF

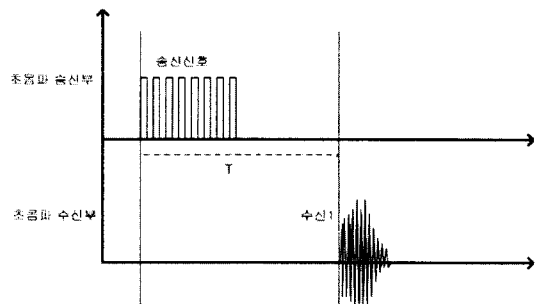


그림 1. 초음파의 TOF를 이용한 거리측정

Fig 1. Range measurement using the TOF of ultrasound waves

본 시스템에서 사용한 초음파 센서는 Polaroid사의 6500series Ranging Module과 600series의 Transducers로 구성된다. 이 시스템의 특징은 49.4khz의 주파수를 가진 16cycles의 펄스를 송수신하며, 유효측정 거리는 15.24cm에서

저자 소개

\* 大邱大學 電子情報工學部 碩士課程

\*\*大邱大學 電子情報工學部 教授 · 工博

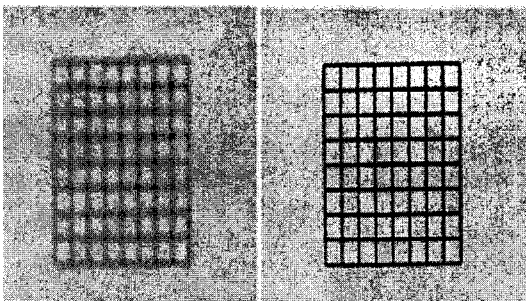
10.688m까지이며, 정밀도는 미터당  $\pm 1\%$ 이다. 이 초음파 센서를 이용해서 측정된 결과 약 3mm의 해상도를 나타냈다.

## 2.2 카메라의 초점을 이용한 거리측정

카메라의 초점을 이용하는 거리측정법은 물체와 카메라의 거리에 따라 영상의 흐려짐이 달라지며, 이는 그림 2에 보인 바와 같다. 본 논문에서는 이러한 성질이 렌즈의 초점거리와 관련이 있음을 이용하여 물체까지의 거리를 측정한다.

우선 특정 거리에 있는 목표물에 대해서 카메라 렌즈의 초점(focus)을 변화 시킨다. 각 초점마다 에지영상을 얻고, 에지로 찾긴 화소의 총 수를 구한다. 이 때 렌즈의 초점은 에지 화소의 수가 증가하는 방향으로 변화시킨다. 우리는 에지 영상을 얻기 위하여 Sobel과 Laplacian 연산자를 사용하였다. 그림 3은 Laplacian 연산자에 의한 에지화소의 수를 렌즈의 초점 거리를 결정하는 모터의 회전값에 대해 표시한 예이다. 그 외 다른 방법으로 MMDT (min-max difference threshold)[5]와 MaxMin 방법도 시험하였다. MMDT는 획득한 영상을 작은 부윈도우(sub-window)들로 나누고, 각 부윈도우 내의 화소값들 중에서 최대값과 최소값의 차이를 구한 후 그 차이가 문턱치를 넘게 되면 이를 모두 누계하여 영상의 초점치로 이용하는 방법이며, MaxMin은 영상 내에서 전체 명암값들 중 최상위와 최하위 1%의 값들의 절대차를 이용하는 방법이다.

각각의 방식에서 해당 렌즈의 위치, 즉 모터 회전값과 취득영상을 모두 저장하였다. 저장된 데이터로부터 기지의 실제거리를 이용하여 시스템을 보정함으로써 미지 거리를 추정할 수 있다. 초점에 의한 방법은 기존의 스테레오 시각 방법에서처럼 두 개의 이미지를 정합하는 문제를 고려할 필요가 없고, 비초점 방법에서와 같이 복수의 렌즈 구경을 사용해야 하는 불편함이 없다는 장점이 있다. 그러나 거리정보를 얻기 위해서는 입력영상이 많이 필요하므로 초점이 맞는 영상을 찾는 데 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 또한 카메라 렌즈의 특성상 원거리 목표물에 대해서는 해상도가 급격히 떨어지는 문제도 있다.



(a) 비초점 영상 (b) 초점 영상

그림 2. 비초점 영상과 초점영상

Fig 2. Defocused and focused images

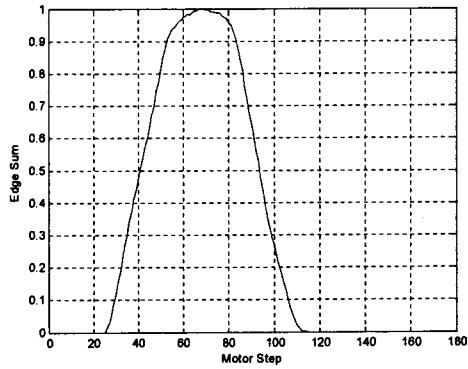


그림 3. 초점 변화에 따른 에지 화소의 총 수(Laplacian)

Fig 3. The total number of edge pixel of following in focus displacement (Laplacian)

## 2.3 전체 시스템의 구조

거리측정 시스템은 그림 4와 같이 크게 소프트웨어와 하드웨어로 나뉘어 설계되었다. 소프트웨어부는 VC++를 기반으로 프로그래밍 되었으며, 초음파 신호 및 영상 처리의 수행과정을 통해서 거리를 계산한다. 하드웨어부는 카메라의 초점 변위를 위한 부분과 목표물의 거리 이동을 위한 부분으로 구성된다.

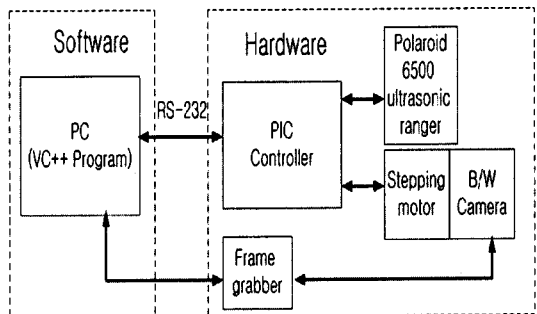
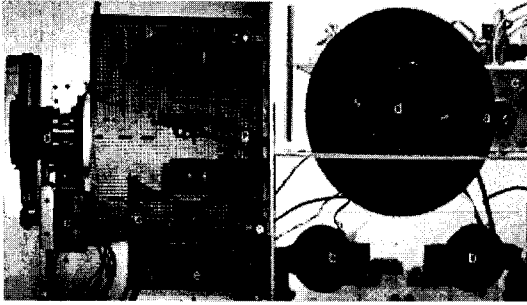


그림 4 시스템의 구조

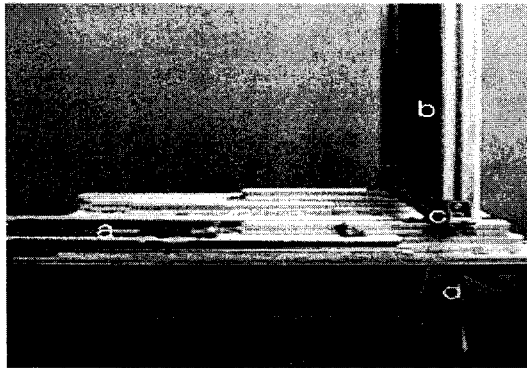
Fig 4. System structure

그림 5는 렌즈의 위치조정을 위해 사용된 스텝 모터와 구동회로로서, PK243M-01AA의 1-2상을 이용하여 한 클럭에 0.45도로 회전한다. 초점의 정밀한 변위를 위해서 1:10비율의 두 축이 평행한 스퍼 기어(spur gear)를 제작하여 렌즈의 외경에 부착하고 모터와 연결하여 한 클럭에 0.045도의 회전 해상도를 얻을 수 있었다. 목표물의 선형이동을 위해서는 알루미늄 프로파일용 응용하여 지지대와 축을 세우고, 1/100의 해상도와 150mm 측정 범위를 가지는 전자식 버니어 캘리퍼스를 이용하여 목표물의 거리를 0.01mm 간격으로 변화시킬 수 있는 장치를 그림 6과 같이 구성하였다.



(a) 렌즈 기어 (b) 초음파 (c) 스텝모터 (d) 렌즈  
(e) 모터드라이브 (f) 마이크로컨트롤러(PIC) (g) serial cable  
그림 5. 카메라 초점 변위 장치

Fig 5. Camera focus displacement system



(1) 버니어 캘리퍼스 (2) 유리판 (3) 지지대 (4) 알루미늄 프로파일

그림 6. 선형 이동 장치

Fig 6. Linear displacement system

#### 2.4. 측정의 융합

초음파와 카메라 초점화를 이용하여 얻은 거리 측정치를 서로 융합하면 보다 정확한 측정치를 얻을 수 있다. 융합의 기법으로는 MLE(maximum likelihood estimation) 방식이 직접적이고, 선형적인 기법이라는 이유에서 널리 사용된다[2]. MLE에 의한 센서 융합방식은 식(2)와 같이 두 독립적인 센서 측정치  $Z_1$ 과  $Z_2$ 로부터 정의된다.

$$Z = \frac{\sigma_2^2 Z_1 + \sigma_1^2 Z_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (2)$$

단,  $\sigma_1^2$ 은 초음파 측정치의 분산  $\sigma_2^2$ 은 카메라 측정치의 분산

#### 3. 실험 결과

표 1은 본 논문에서 제시된 방법들에 대한 실험결과를 보여준다. 카메라의 초점화 방법 중에서는 Laplacian 연산자를 사용한 에지 화소에 의한 방법의 정확도가 가장 높았고, 이는

초음파에 의한 결과보다는 약간 나았다. 전체적으로는 두 측정치의 융합시 가장 작은 오차를 얻을 수 있었다.

표 1. 실험의 결과(단위: mm)

Table 1. Experimental result of range measurement(unit: mm)

방법		평균계측오차
Camera focusing	Sobel	2.0759
	Laplacian	1.1382
	MMDT	1.2482
	MaxMin(Sobel)	1.7852
	MaxMin(Laplacian)	3.4547
Ultrasound		1.0784
Focusing + Ultrasound		0.7882

#### 4. 결론

본 논문에서는 초음파의 TOF와 카메라의 초점을 이용하여 목표물까지의 거리를 측정하는 시스템을 설계하였다. 초음파 센서를 이용하였을 때는 비교적 빠르게 목표물까지의 거리를 측정할 수 있었으며, 카메라를 이용하였을 때는 기지의 실제거리와 모터스텝을 이용한 보정으로 거리를 계측할 수 있다. 특히 두 계측치의 융합은 보다 정확한 계측을 가능하게 하였다. 초음파의 경우 단순히 최근거리만 계측가능하며, 카메라 초점화의 경우 원거리는 해상도가 급격히 떨어지는 문제가 발견 되었다. 다양하고 복잡한 대상에 대한 거리 계측은 향후 연구 과제로 남아 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] E. Krotkov, "Focusing", International Journal of Computer Vision, Vol. 1, No. 3, pp.223-237, 1987.
- [2] E. Krotkov, R. Kories, "Adaptive Control of Cooperating Sensors : Focus and Stereo Ranging with an Agile Camera System", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 1, pp. 548-553, April, 1988.
- [3] A.P. Pentland, "A New Sense for Depth of Field", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 9, No. 4, pp. 523-531, July 1987.
- [4] J. Dias, A. de Almada, H. Araujo, "Depth Recovery using Active Focus in Robotics", IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems, Vol. 1, pp. 249-255, Nov, 1991.
- [5] 신승현 외, "디지털 카메라를 위한 새로운 자동초점조절 알고리즘의 연구", 전기학회논문지, Vol. 50D, No. 9, pp. 447-452, 2001.
- [6] 차국환, "초점과 비초점에서 깊이 및 거리 계측에 관한 연구", 중앙대학교 대학원, 전자공학과, 박사 학위 논문, 1992.