

이동 로봇의 장애물 인식을 위한 Vision Algorithm

○ 이 정 수 \*            임 준 홍 \*\*            오 상 록 \*\*\*            변 중 남 \*\*\*  
 \* 금성통신연구소            \*\* 한국항공대학교            \*\*\* 한국과학기술원 전기및전자공학과

Vision Algorithm for Obstacle Detection of Mobile Robot

J. S. Lee ,            Joonhong Lim ,            S. R. Oh            and Z. Bien  
 GSTRI            Hankuk Aviation College            KAIST EE

Abstract

A vision algorithm is presented for the separation of near objects from distant objects. In the algorithm, a difference field of a stereo pair of images is computed to obtain the range information and the median filter is used for the suppression of distant objects. The objects within a given distance is segmented by thresholding the gray scale cross-section of the median filtered difference field. The experiment is performed in a laboratory setting.

그러나 3차원 물체 인식을 위한 일반적인 algorithm들은 매우 복잡하여 처리시간이 많이 걸리고 noise에 매우 민감하여 로봇에 바로 적용하기가 매우 어렵다. 이동로봇의 장애물 인식을 위해서는 로봇 앞에 가까이 있는 물체만을 인식하는 간단한 시각장치가 더 유용할 것이다. 본 논문에서는 로봇로부터 일정거리내에 있는 물체만을 구별해 낼 수 있는 간단한 시각장치에 대해 언급한다. 이 방법은 3차원 영상처리의 초기 단계로 쓰일 수도 있을 것이며, 무엇보다 look-and-move형태의 이동로봇의 장애물 인식에 적용되어질 수 있다. 거리에 따라 물체를 구별하기 위해서 Stereo image의 difference field를 사용하며 일정거리 밖의 물체를 제거하기 위해서 median filter를 사용한다. 그리고 주어진 거리내의 물체의 horizontal-extent를 알아내기 위해 median filtered difference field의 gray scale cross-section에 대한 thresholding을 수행한다.

1. 서    론

지능적인 이동로봇을 위해서는 자율적인 장애물 인식 기능이 필요하다. 이를 위해서 주로 초음파 감지거나 시각 장치등이 사용되고 있다.

Kanayama등은 벽의 형태를 인식하기 위해서 least-squares fitting을 사용하는 초음파 거리 인식 장치를 개발하였고[1]. Delepaud등은 로봇의 작업환경에서 장애물 인식을 위해서 방사된 신호와 반사파 사이의 correlation을 사용하는 초음파 시스템을 발표하였다[2]. 그러나 초음파 시스템은 lateral resolution이 매우 나쁜 단점이 있다. Moravec등은 이동로봇을 위해서 물체를 3차원 특징점들의 간단한 타원체로써 모델화하여 인식하는 시각장치를 개발하였다[3]. 또한 Rives등은 로봇의 장애물 회피의 Simulation을 위해서 optical flow method를 사용하였다[4].

2. Camera 좌표계

두대의 평행한 camera가 그림 1.과 같이 2d만큼 떨어져 있고 그 렌즈의 촛점거리를 f라고 가정한다. 여기서 base coordinate (X,Y,Z)와 left image plane (X',Y') 그리고 right image plane (X'',Y'')를 그림1.과 같이 정의한다. 그러면 base coordinate와 image planes 사이의 관계는 다음과 같이 된다.

$$X' = \frac{(X + d) \cdot f}{Z} \qquad X'' = \frac{(X - d) \cdot f}{Z}$$

$$X = \frac{X' + X''}{X' - X''} \cdot d \qquad Z = 2 \cdot d \cdot \frac{f}{X' - X''}$$

( \* 본 연구는 과기처 특정과제 연구비 지원에 의해 이루어졌음 )

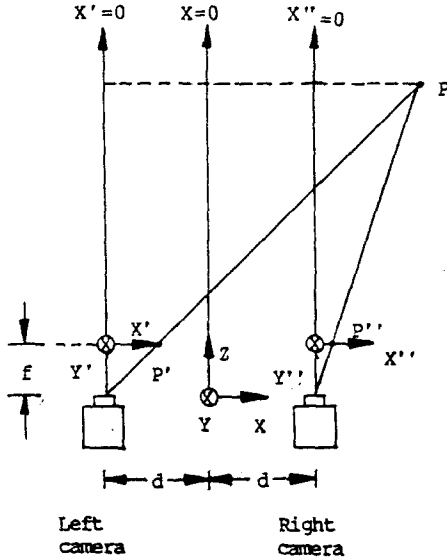


Fig. 1. Camera Coordinate System

이때 대응하는 점  $X'$  과  $X''$  사이의 disparity DS는 다음식과 같이 거리 Z 에 반비례한다.

$$DS = X' - X'' = 2 \cdot d \cdot \frac{f}{Z}$$

### 3. 거리에 의한 물체의 구별

거리정보에 의한 물체의 구별을 위한 과정은 다음과 같다. 여기에서 우리는 물체의 표면은 밝기의 측면에서 Smooth하고 물체들은 서로 겹쳐지지 않았다고 가정한다.

#### 3.1 Difference Field의 계산

$L(j,k)$ 를 digitized left image field,  $R(j,k)$ 를 digitized right image field라하고, difference field  $D(j,k)$ 와 화면 display를 위한 modified difference field  $DM(j,k)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$D(j,k) = L(j,k) - R(j,k)$$

$$DM(j,k) = (D(j,k) + 255)/2$$

Difference field는 배경과 left image 와 right image에서 물체가 겹쳐지는 부분에서는 0(영) 근방의 값을 나타내고, 물체의 겹쳐지지 않는 부분에서는 배경보다 물체가 밝은 경우에 그림 3.에서와 같이 각 line을 따라서 - 와 + pair 값을 나타낸다.

#### 3.2 Median Filtering of the Difference Field

Median filtering은 image에서 noise의 제거에 유용한 비선형 신호처리 기술이다. Median filter는 window의 center pixel을 window 내 pixel값의 median으로 대체하며, 그 주기가 window 크기의 절반이하가 되는 pulse function들은 모두 제거되고 그 보다 큰 signal은 변동이 없는 특성을 갖는다[6].

WIN을 1차원 median filter의 window size라하고, 주어진 거리 z에 대해 WIN을

$$WIN = 2 \cdot DS + 1$$

로 정하면 difference field  $D(j,k)$ 를 median filtering한 결과는 그림 4. 와 같이 그 거리가 z 보다 작은 물체만이 남게됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 이를 위하여 연속적으로 수정되는 histogram을 사용하는 fast median filtering algorithm[7]을 사용하였다.

#### 3.3 Vertical Gray Scale Cross-section의 Thresholding에 의한 물체 구별

Vertical gray scale cross-section은 다음과 같이 정의된다.

$$V(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} D(j,k)$$

이때 거리에 의한 물체의 구별은 median filtered difference field의 vertical gray scale cross-section의 thresholding에 의해 달성되어 질 수 있다.

그림 5.는 이 물체 구별 방법의 의해, 주어진 거리내의 물체의 horizontal extent를 결정하는 예를 보여준다.

### 4. 실험 결과

실험은, 초점거리가 16mm이고, horizontal field of view가 38.8°인 SONY CCD Camera 와 GOULD Inc.의 FD-5000 digitizer를 사용하여 실험실환경에서 수행되었다. PDP 11/34 minicomputer가 main processor로서 사용되었으며 CCD Camera에서 입력된 image는 256 gray level의 256 x 512 digital image로 digitize되어 PDP 11/34 computer에서 처리되었다.

두대의 parallel camera사이의 거리는 5 cm이고 camera로부터 물체까지의 거리는 그림 2에서 왼쪽부터 차례로 80, 100 그리고 120 cm이다.

Window size WIN을 95 pixel로 했을때 그림 4(a)와 같이 100cm이내에 있는 물체만이 구별되었으며, WIN을 79 pixel로 했을때 그림 4(b)와 같이 120 cm 이상의 거리에 있는 물체가 제거되었다. 그리고 마지막으로 물체의 horizontal extent는 그림 5 에서와 같이 median filtered difference field의 vertical gray scale cross-section을 thresholding함으로써 구해졌다.

전체 처리 시간은 약 40초가 소요되며 lateral resolution은 100cm의 거리에서 약 1 mm이다. 실험 결과에 대한 사진이 그림 2 - 그림 5에 나타나있다.

## 5. 결 론

거리에 의해 물체를 구별할 수 있는 vision algorithm이 개발되었다. 이 algorithm은 3차원 물체 인식의 한단계가 될 수도 있고 또한 look-and-move형태의 이동로봇의 장애물 인식을 위하여 사용되어질 수 있다. 이동 로봇은 이 algorithm에 의해서 한번에 진행해야 할 거리 이내의 장애물을 감지하여 이를 피해 갈 수 있다.

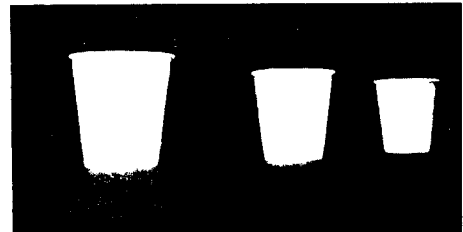
이 algorithm은 매우 간단하며 입력 image의 noise가 median filter에 의해 제거되기 때문에 robust하다. 비록 물체의 정확한 형태나 거리를 알수는 없지만 이러한 거리에 의한 물체의 구별방법은 또한 많은 일에 적용 되어질 수 있을 것이다.

성능이 보다 좋은 computer의 사용과 median filter의 hardware implementation(8)(9)은 처리 속도를 개선해줄 수 있을 것이다.

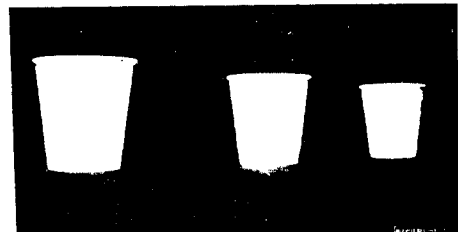
## REFERENCES

- [1] Y.Kanayama, S.Yuta and Y.Kubotera. "A Sonic Range Finding Module for Mobile Robots." Proc. of 14th ISIR, Gothenburg (Sweden), PP 643-652, Oct. 1984.
- [2] Ch.Delepaut, L.Vandendorpe and Ch.Eugene. "Ultrasonic Three-Dimensional Detection of Obstacles for Mobile Robots." Proc. of 16th ISIR, Brussels (Belgium), PP 483-490, Sep. 1986
- [3] H.P.Moravec. "The Stanford Cart and the CMU Rover," Proceeding of the IEEE, Vol.71, No.7, PP 872-884, Jul. 1983.

- [4] P.Rives, L.Marce. "Use of Moving Vision Sensors in Robotics Application to an Obstacle Avoidance Task." Proc. of '85 ICAR, Tokyo (Japan), PP 215-223, Sep. 1985
- [5] B.Julesz. "Binocular Depth Perception of Computer-Generated Patterns". The Bell System Technical Journal. PP 1125-1162, Sep. 1960.
- [6] W.K.Pratt. Digital Image Processing, John Wiley & Sons Inc., 1978
- [7] T.S.Huang, G.J.Yang and G.Y.Tang. "A Fast Two-Dimensional Median Filtering Algorithm", IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol.ASSP-27, No.1, PP 13-18, Feb. 1979.
- [8] E.Ataman, V.K.Aatre and K.M.Wong. "A Fast Method for Real-Time Median Filtering", IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol.ASSP-28, No.4, PP 415-421, Aug. 1980.
- [9] K.Oflazer. "Design and Implementation of a Single-Chip 1-D Median Filter", IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol.ASSP-31, No.5, PP 1164-1168, Oct. 1983



(a)



(b)

Fig. 2. A Pair of Stereo Images.

- (a) Left Image  $L(j,k)$   
 (b) Right Image  $R(j,k)$

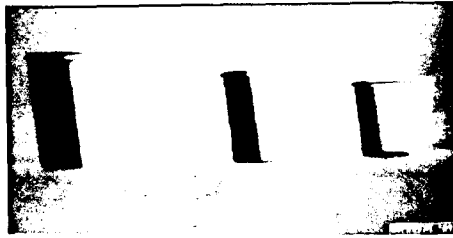
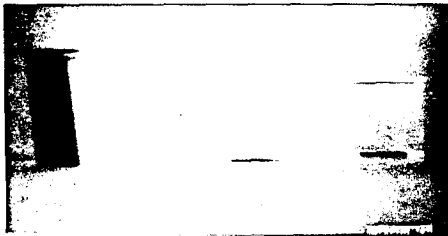
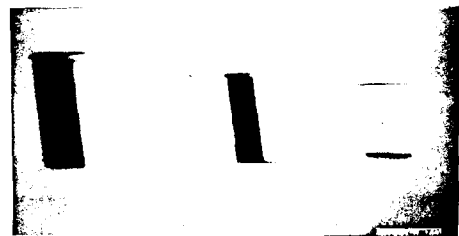


Fig. 3. A Difference Field  $D(j,k) = L(j,k) - R(j,k)$

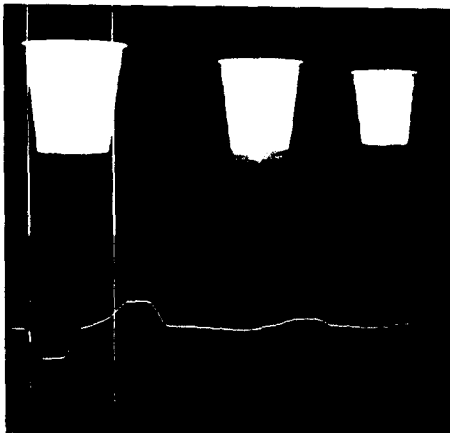


(a)



(b)

Fig. 4. The Median Filtered Difference Field (a) WIN = 95  
(b) WIN = 79



(a)



(b)

Fig. 5. Segmentation by Thresholding of The Vertical Gray Scale Cross-section, (a) WIN = 95, TH = 10  
(b) WIN = 79, TH = 10