

## 이동 물체의 3차원 계측을 위한 PSD 센서 배열 설계

김종만 · 도용태<sup>†</sup>

### PSD sensor array design for the 3D measurement of moving objects

Jongman Kim and Yongtae Do<sup>†</sup>

#### Abstract

Perceiving a 3D moving target is important for automated machines including robots in a factory. Although stereo-vision or ultrasonic ranging is often employed for the purpose, the former requires high-cost systems, and the latter suffers from low-resolution. In this paper, we propose a PSD sensor array to acquire the 3D profile of an object conveyed by a belt. Rectangular parallelepiped target objects at random positions and orientations are assumed. Nine PSD sensors are configured in a 3×3 array above the belt, and fired in a sequence so that cross-talk can be avoided. Time gaps among sensor readings are compensated to get a result that is obtainable when sensors' measurements are made simultaneously along a sensing line. The system designed is tested with various objects in experiments.

**Key Words :** PSD(Position Sensitive Detector), 3D measurement, conveyor belt

#### 1. 서 론

산업용 로봇은 종래의 단순 반복 작업에서 센서를 기반으로 하는 지능적 작업으로 급속히 발전하고 있다. 특히 컨베이어 벨트에 의하여 운송되는 물체의 특징을 인식하고, 이를 들어올려(pick-up) 다음 공정을 위해 분류 및 이송하는 작업은 산업용 로봇뿐 아니라 자동화 제조공정에서 빈도가 높은 작업에 속한다<sup>[1]</sup>. 만약 이송되는 물체의 종류가 다양하고, 벨트 상에서 물체의 위치와 방위가 임의일 때, 센서는 물체의 3차원 형상을 실시간 검출하는 것이 필요하다.

자동화 공정에서 물체의 3차원 형상을 인식하기 위한 센서로 초음파 센서, 시각 센서, 레이저 스캐너 등이 일반적으로 활용되어 왔다. 초음파 센서(ultrasonic sensors)는 가격이 저렴하고, 크기가 작으며, 사용이 간단한 장점이 있다. Brudka와 Pacut<sup>[2]</sup>은 컨베이어 벨트 위의 물체를 초음파 센서 배열을 사용하여 3차원적으로 인식하고 위치를 결정하고자 하였다. 그러나 음파를 사용한 계측은 충분한 측정 해상도(resolution)를 기대

하기 어렵다. 따라서 Brudka<sup>[2]</sup> 등은 제어용 계측을 위해 자주 사용되는 40~60 kHz의 초음파 센서보다 훨씬 높은 주파수인 150 kHz의 센서를 채용하였고, 인공 신경망을 이용하여 데이터를 후처리하였다. 그러나 높은 주파수의 음파를 사용하는 센서는 가격이 비싸며, 공기 중 급격한 감쇠 때문에 측정 가능 거리가 짧은 문제가 있다. 또 인공 신경망의 사용은 일반적으로 많은 데이터와 긴 학습시간을 필요로 한다. 카메라를 사용한 시각 센서(vision sensors)의 경우, 광을 기반으로 하므로 높은 해상도를 얻을 수 있다. Shin 등<sup>[3]</sup>은 로봇에 장착된 카메라를 사용하여 컨베이어 벨트에 의해 이송되는 물체를 추적하는 장치를 설계하였다. 그러나 한 대의 카메라로는 물체의 3차원 특징은 계측할 수 없으며, 단지 평면상의 위치와 방위만 계측가능하다. 일반적으로 대상체에 대한 3차원 정보를 얻기 위해서는 스테레오 시각(stereo vision) 장치<sup>[4]</sup>를 구성하여야 하는데, 이 경우 전체 장치의 가격이 높고, 특히 두 영상의 정합(matching)을 위한 계산비용이 크다. 레이저 스캐너(laser scanner)는 사용이 간단하고 해상도도 높다. Hahn과 Mota<sup>[5]</sup>는 벨트에 의하여 이송되는 고추를 형태에 따라 분류하기 위하여 레이저 스캐너를 활용하였고, 시각 장치를 사용할 때와 비교하여 훨씬 빠른 속도로 작업을 수행할 수 있음을 보고한 바 있다. 그러나

대구대학교 정보통신대학 전자공학부(School of Electronic Engineering, Daegu University)

<sup>†</sup>Corresponding author: ytdo@daegu.ac.kr  
(Received : January 31, 2008, Accepted : February 25, 2008)

레이저 스캐너는 높은 가격을 단점으로 가진다.

본 논문에서는 적외선 PSD(position sensitive detector)를 사용하여, 컨베이어 벨트에 의하여 이송되는 물체의 3차원 정보를 획득하는 방법을 제안한다. PSD는 간단한 계측 구조 및 사용 방법, 저렴한 가격, 그리고 빠른 측정 속도와 같은 장점을 가진다. 특히 비슷한 특성과 용도를 가지는 초음파 거리 센서가 낮은 해상도로 인하여 다양한 해결 방안이 제시되고 있는데 비해<sup>16)</sup>, PSD는 대부분 적외선 광을 사용하므로 높은 지향성과 해상도를 가진다. 로봇의 활용에 있어 PSD와 같은 적외선 거리 센서는 주로 장애물 감지 및 거리 측정과 같은 단순한 용도로 사용되고 있으나<sup>17)</sup>, 본 논문에서의 방법과 같이 엇갈린 2차원 배열로 구성하면 이동 물체의 3차원 형상을 쉽게 획득할 수 있음을 보인다. 다양한 크기의 직육면체 물체가 임의의 방위와 위치로 컨베이어 벨트에 의하여 이송될 때, 로봇이 이를 파지(grasping)하는 것이 가능하도록 센서 시스템을 구성하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

## 2. PSD 센서 배열의 설계

### 2.1. 전체 시스템의 구조

컨베이어 벨트에 의하여 이동하는 물체를 인식하기 위해, 본 논문에서는 그림 1에 보인 바와 같이 시스템을 구성하였다. PSD 센서는 높은 해상도를 가지지만, 그 물리적 크기 때문에 조밀하게 배열할 수 없다. 따라서 9개의 센서를 엇갈린 3×3 배열로 배치하였다. 사용된 센서의 숫자는 측정 영역인 컨베이어 벨트의 폭을 고려하여 결정하였다. PSD 센서 제어부는 ATmega 128 MPU를 사용하였다. MPU는 물체의 3차원 형상을 획득하기 위하여 9개의 PSD 센서로부터의 출력 신호

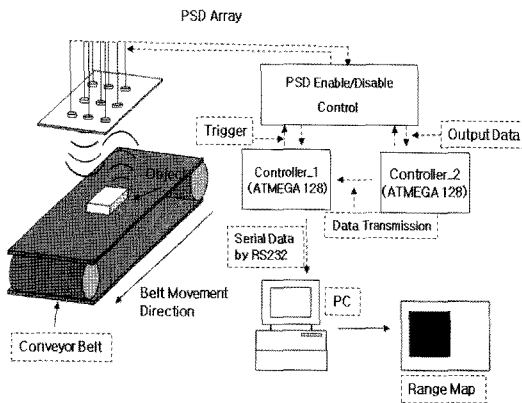


그림 1. 전체 시스템의 구조  
Fig. 1. Overall system structure.

를 입력으로 사용한다. ATmega 128에는 8채널의 A/D 컨버터가 있으므로 총 9개의 PSD 아날로그 출력 신호를 입력 받기 위하여 MPU를 2개 사용하였다. MPU에서 획득한 데이터는 RS-232 통신 방식으로 PC로 전송된다. PC에서는 PSD 센서 측정치들을 획득한 후, VC++로 작성된 처리 프로그램을 이용하여 피측정 물체의 3차원 형상을 구성한다.

### 2.2. PSD 센서

PSD는 삼각 측량 방식(triangulation)으로 거리를 측정하는 센서로, 적외선 LED을 통해 광선이 방출된 후 전방의 물체에 반사되어 PSD의 수광부로 입사되는 위치에 따라 물체와의 거리를 측정한다. PSD 센서는 근거리에서 높은 정확도를 가지며, 대상 물체의 색이나 온도변화 등 환경적 요소에 둔감한 장점이 있다. 본 논문에서는 PSD 센서로 SHARP사의 GP2Y0A02YK<sup>18)</sup>를 사용하였다. 그림 2는 사용된 PSD의 출력 전압 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 센서의 탐지 거리는 대략 20~150 cm이고, 아날로그 출력 전압은 거리가 멀어질수록 작아지며, 반사율의 차이가 큰 흰색 종이와 회색 종이를 대상으로 실험을 했을 때에도 센서의 출력 특성에는 큰 차이가 없다.

### 2.3. PSD 센서 배열 설계

PSD 센서는 그 물리적 크기 때문에 조밀하게 배열할 수 없다. 따라서 그림 3에 보인 바와 같은 170 mm의 컨베이어 벨트 폭에 대해서, 9개의 PSD를 엇갈린 3×3 배열로 배치할 때 최대한으로 촘촘하게 측정할 수 있다. 단, 그 결과는 9개 센서를 일렬로 배치할 수

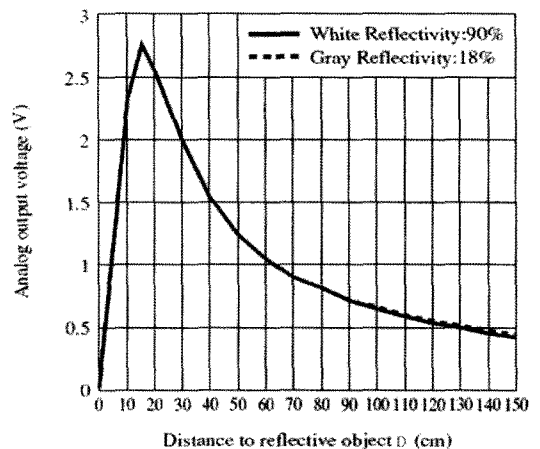


그림 2. GP2Y0A02YK PSD의 출력 특성  
Fig. 2. Output characteristics of GP2Y0A02YK PSD.

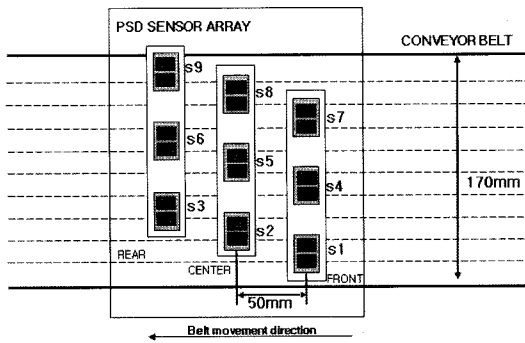


그림 3. PSD 센서 배열의 설계  
Fig. 3. Design of PSD sensor array.

표 1. 센서 계측간의 지연  
Table 1. Delays Among Sensor Measurements  
(unit : scan line)

센서	PSD1	PSD2	PSD3	PSD4	PSD5	PSD6	PSD7	PSD8	PSD9
시간	0	6	11	1	6	11	1	6	11
간격									

있을 때 측정된 것과 동일한 효과를 얻고자 하였다. 이와 같은 배열에서의 측정 방식은 맨 처음 S1, S4, S7의 PSD 센서를 차례로 동작시켜 목표물까지의 거리를 측정하고, 일정한 지연시간 후 S2, S5, S8의 센서를 차례로 동작시키고, 마지막으로 S3, S6, S9 센서의 값을 측정하였다. 각 센서의 측정간에는 지연이 있으므로, 벨트의 이동 속도와 센서의 측정 속도를 고려하여 모든 센서가 동시에 측정된 것과 같은 계측치를 얻을 수 있도록 보상을 할 필요가 있다. 우리는 실험을 통해 표 1에 보인 바와 같은 센서 계측간의 평균 지연 간격을 얻고 보상에 활용하였다.

사용한 PSD 센서 1개의 계측영역은 센서의 송신부 위치를 기준으로 가로, 세로 각각 10mm이고, PSD 센서의 크기를 고려하여 가로 측 센서 간의 사이를 10mm의 간격으로 두었다. 그림 4는 구성된 시스템의 센서 배치와 가로 방향의 계측 영역을 보여준다. 측정되지 못한 영역의 경우, 영역을 좌우 2구간으로 나눈 후, 각각에 가까운 측정값으로 추정하였다.

2.4. 센서 제어

사용된 PSD 센서는 빔을 발사하기 전에 평균 38.3 msec의 전원 안정 시간이 필요하다. 전원 안정 시간을 포함하여 PSD 센서가 동작하는 시간은 그림 5에서 보듯 약 50 msec가 된다. 따라서 PSD 센서 9개로 이루어진 배열 전체의 계측 주기는 450 msec이다. 그림 6은 9개의 센서를 순차적으로 제어하기 위한 회로를 보여

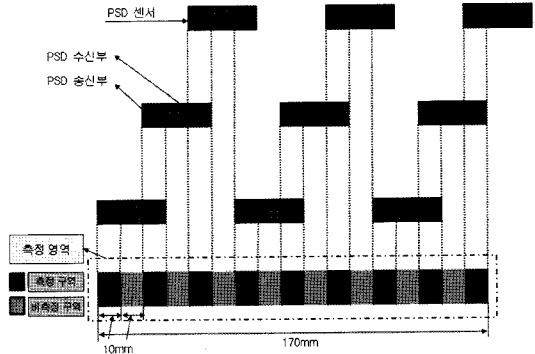


그림 4. PSD 센서 배열의 계측 영역  
Fig. 4. Measurement areas of PSD sensor array.

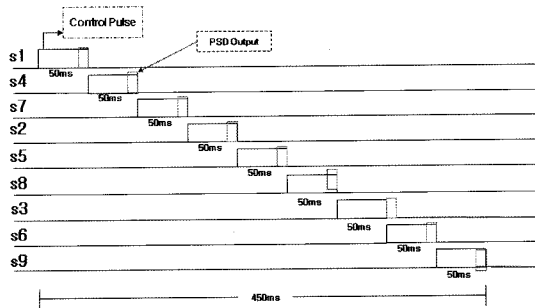


그림 5. 센서의 동작 시간도  
Fig. 5. Timing diagram of sensors.

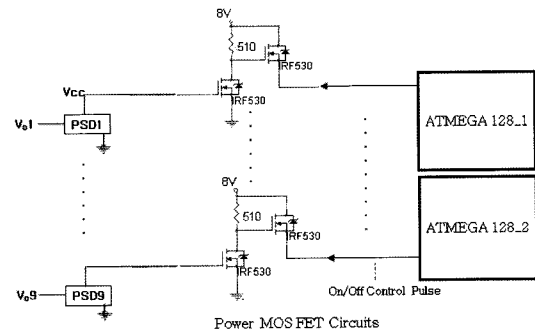


그림 6. PSD 센서 배열의 제어를 위한 회로  
Fig. 6. Circuit for controlling PSD sensor array.

준다. PSD 센서는 개당 약 33~50mA의 전류를 소모하므로 MPU의 출력 신호가 20mA임을 고려하면 직접적으로 제어할 수 없으며, 센서들이 인접하여 누화(cross-talk)에 의한 오차가 발생하므로, 전력용 MOSFET인 RF530을 사용하여 PSD 센서를 순차적으로 ON/OFF하도록 설계하였다. MPU로부터 각 센서의 동작 명령을 50 msec 간격으로 보내 트랜지스터를 통하여 각 센서들을 순차적으로 ON 및 OFF 시키고, 450

msec동안 총 9개 센서의 출력신호를 MPU가 받아 들여 처리한다.

### 3. 목표물의 3차원 형상 계측

#### 3.1. 거리 계측

구성된 PSD 센서 배열에 의한 물체의 3차원 형상 획득은 센서에 의하여 물체까지의 거리를 계측하고, 센서부 아래 일정 속도로 평면 이동하는 물체에 대해서 계측치를 누적함으로써 가능해진다. 먼저 이 절에서는 거리를 계측하여 물체의 높이를 측정하는 방법을 서술하고, 다음 절에서는 누적된 측정치로부터 물체의 무게 중심과 방위를 추정하는 방법을 서술한다.

PSD 센서의 출력은 앞에서 보인 그림 2에서 알 수 있듯이 센서의 사용 측정 범위인 20~150 cm 구간에서 비선형 출력 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 이용하여 거리 측정하기 위해 선형 및 비선형의 두 가지 방법으로 센서 특성을 모델링하였다. 먼저 선형의 반비례 식으로 모델링하면,

$$D = \frac{m}{V-b} + a \tag{1}$$

의 식을 얻는데,  $V$ 는 출력 전압,  $D$ 는 물체까지의 거리,  $m$ 과  $a$ ,  $b$ 는 미지의 계수이다. 계수를 결정하기 위해 식 (1)을 정리하면 다음과 같고,

$$bD + aV + (m-ab) = DV \tag{2}$$

이는  $n$ 개의 보정용 데이터를 사용한 행렬식으로 다시 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$LX = R \tag{3}$$

단,  $R = \begin{pmatrix} D_1 V_1 \\ D_2 V_2 \\ \vdots \\ D_n V_n \end{pmatrix}$ ,  $L = \begin{pmatrix} D_1 V_1 1 \\ D_2 V_2 1 \\ \vdots \\ D_n V_n 1 \end{pmatrix}$ ,  $X = \begin{pmatrix} a \\ b \\ m-ab \end{pmatrix}$  이다.

이 식은 다음과 같이 풀 수 있다.

$$X = L^+ R \tag{4}$$

여기서  $+$ 는 행렬의 의사역(pseudo-inversion)을 의미한다. 일단  $X$ 를 구하면, 미지의 계수는 다음과 같이 결정된다.

$$a = X(1) \tag{5.1}$$

$$b = X(2) \tag{5.2}$$

$$m = X(3) + X(1)X(2) \tag{5.3}$$

두 번째 방법으로 출력전압과 측정거리 사이의 관계를 지수 함수에 의한 비선형 식으로 아래와 같이 모델링하였다.

$$V = e^{-r(D-p)} + q \tag{6}$$

단,  $r$ ,  $p$ ,  $q$ 는 시스템 계수이다. 여기서  $\frac{1}{r}$ 을  $h$ 라고 정의하고,  $p + \frac{\log q}{r}$ 를  $k$ 라고 정의한 후, 거리  $D$ 에 대해 식을 정리하면 다음과 같고,

$$D = h \log V + k \tag{7}$$

보정용 데이터를 사용한 행렬식은 아래와 같다.

$$LX = R \tag{8}$$

단,  $R = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_n \end{pmatrix}$ ,  $L = \begin{pmatrix} \log V_1 1 \\ \log V_2 1 \\ \vdots \\ \log V_n 1 \end{pmatrix}$ ,  $X = \begin{pmatrix} h \\ k \end{pmatrix}$  이다.

이제 미지의 계수는 다음 행렬식으로부터

$$X = L^+ R \tag{9}$$

아래와 같이 결정될 수 있다.

$$h = X(1) \tag{10.1}$$

$$k = X(2) \tag{10.2}$$

#### 3.2. 물체의 중심과 방위의 계측

측정 대상 물체가 직육면체라고 가정할 때, 물체의 윗면은 동일한 높이를 가진다. 즉, 앞 절에서 서술한 방식에 의한 거리 계측의 결과로 얻어진 거리 영상(range map)은 물체가 존재하는 부분과 아닌 부분으로 구성된 이진 영상(binary image)으로 변환될 수 있다. 이진 영상내 물체의 중심과 방위를 구하는 방법은 기계 시각(machine vision) 분야에서 이미 잘 정립되어 있다<sup>[9]</sup>. 즉, 먼저 이진 영상내 전경(foreground)으로 추출된 물체의 면적을 다음과 같이 구한다.

$$A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B(i,j) \tag{11}$$

여기서  $B(i,j)$ 는 이진영상의 임의 화소를 의미한다. 이제 무게 중심  $(\bar{x}, \bar{y})$ 는 다음과 같이 구해진다.

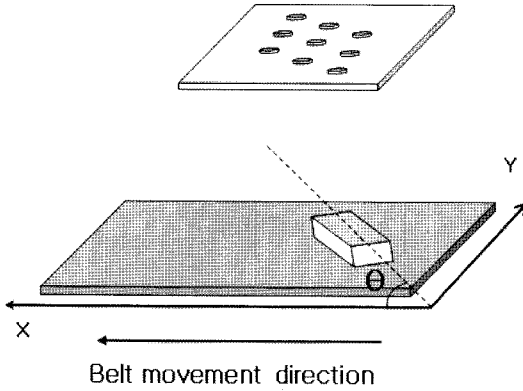


그림 7. 물체의 방위  $\theta$ 를 위한 좌표 설정  
Fig. 7. Coordinate frame set for object orientation  $\theta$ .

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m j B(i,j)}{A} \quad (12.1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i B(i,j)}{A} \quad (12.2)$$

물체의 방위  $\theta$ 는 그림 7과 같이 좌표축을 설정하였을 때, 다음 식으로부터 계산된다.

$$\tan 2\theta = \frac{b}{a-c} \quad (13)$$

여기서,

$$a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x'_{ij}) B[i,j] \quad (14.1)$$

$$b = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x'_{ij} y'_{ij} B[i,j] \quad (14.2)$$

$$c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y'_{ij})^2 B[i,j] \quad (14.3)$$

이고,  $x'$ 와  $y'$ 는 물체의 좌표에서 중심 좌표를 뺀 것이다.

#### 4. 실험 결과

PSD 센서를 보정하기 위해, 그림 8에 보인 바와 같이 0.05 mm 정확도를 가지는 Intelitek사의 미끄럼 기저(sliding base)를 이용하여 데이터를 획득하였다. 설계된 시스템의 측정구간인 260~400 mm 거리에서 10 mm단위로 획득된 90개의 데이터를 이용하여, 식 (1)과 식 (6)의 두 가지 모델에 대해서 계수들을 결정하였다. 표 2는 두 가지 모델에 의한 보정의 정확도를 RMS

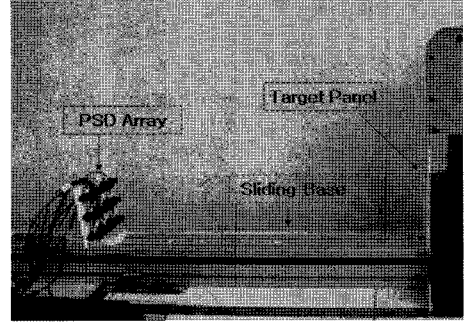


그림 8. 미끄럼 기저를 이용한 센서 보정  
Fig. 8. Sensor calibration using a sliding base.

표 2. 시스템 보정의 정확도

Table 2. System Calibration Accuracy

센서	식 (1)의 선형 모델에 의한 보정 오차	식 (6)의 비선형 모델에 의한 보정 오차
PSD1	0.62	0.62
PSD2	1.61	1.74
PSD3	1.45	1.31
PSD4	1.37	1.35
PSD5	1.88	1.58
PSD6	1.21	1.21
PSD7	1.27	1.13
PSD8	1.84	1.32
PSD9	1.20	1.17
평균 오차	1.38	1.27

표 3. 실험용 물체의 상세

Table 3. Details of Experimental Objects

특성 \ 물체	물체 1	물체 2	물체 3	물체 4	물체 5
가로	60	60	80	80	50
세로	100	100	120	120	80
높이	100	100	100	100	50
각도	0°	-45°	0°	90°	30°

(root mean square) 오차로 비교한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 비선형의 지수함수로 모델링한 방법이 선형의 관계식으로 모델링한 방법에 비해 조금 더 좋은 정확도를 보였다.

보정된 시스템은 표 3과 같은 물체들을 이용하여 시험하였다. 그림 9(a)와 같은 물체를 예로 들면, 구성된 센서 배열을 사용하여 (b)와 같은 거리 영상을 얻었다. 그림에서 띠 모양으로 나타난 부분이 센서에 의하여 측정된 거리값을 화소의 밝기로 표현한 것이며, 띠 사이 빈 부분은 센서의 배치 구조상 측정되지 못한 부분

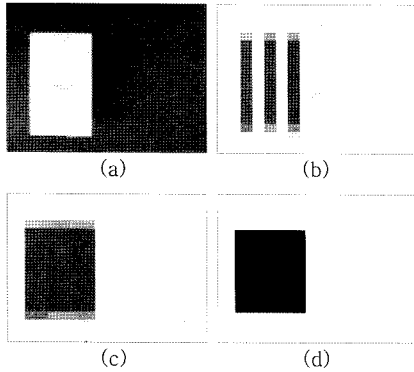


그림 9. 센서에 의한 거리 영상의 처리: (a) 실제 물체, (b) 센서 배열에 의한 거리 영상, (c) 비측정 구역의 보상, (d) 최종 이진 영상  
 Fig. 9. Processing of range image obtained by sensors: (a) Real object, (b) Range map by sensor array, (c) Compensation of un-measured regions, (d) Final binary image.

표 4. 실험 계측 오차

Table 4. Experimental Measurement Errors

물체	특성 오차	높이 오차	윗면적 오차	중심좌표 오차	방위 오차
물체 1		2.54	0	7.29	0.04°
물체 2		0.34	40	7.79	5.20°
물체 3		1.60	0	6.93	0.09°
물체 4		3.68	0	5.60	0.03°
물체 5		4.13	20	5.96	2.53°

이다. 이 부분의 처리는 그림 4를 이용하여 2.3절에서 서술한 방식과 같이 비측정 영역을 2구역으로 나눈 후 가까운 측정치로 대체하였을 때, 그림 (c)와 같은 영상을 얻을 수 있었다. 이제 직육면체를 가정하고 거리 영상을 이진화하면 (d)와 같은 영상을 얻는다. 실제로 얻어지는  $N \times 17$  화소 크기의 영상은 보기에 너무 작아서, 그림 9는 300배 확대한 것이다. 여기서 N은 측정된 물

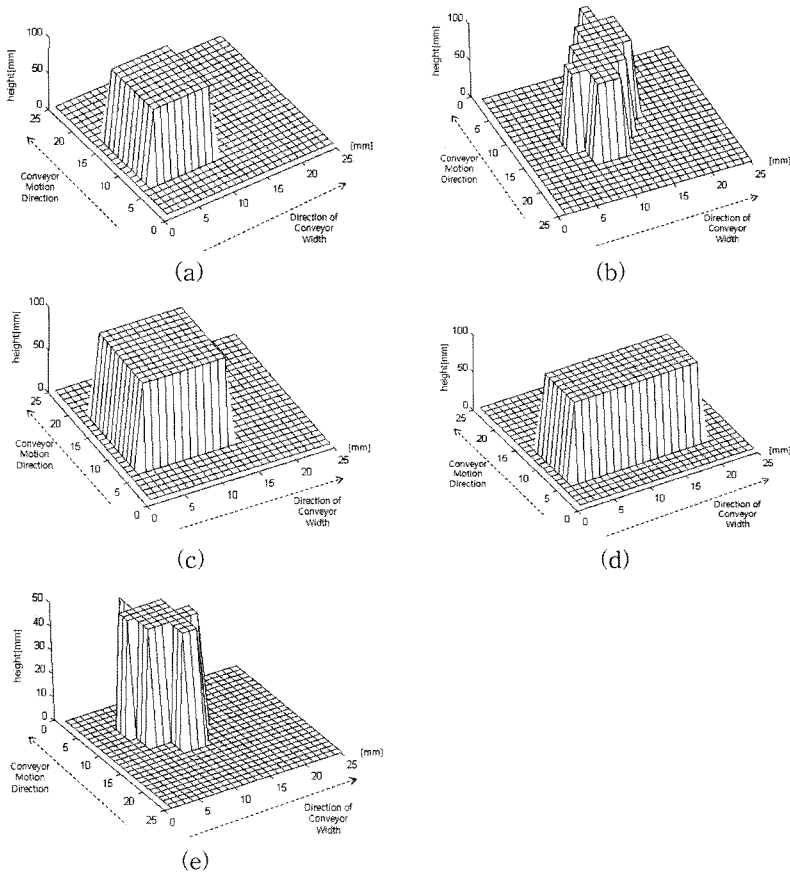


그림 10. 3차원 형상 계측의 결과: (a) 물체 1, (b) 물체 2, (c) 물체 3, (d) 물체 4, (e) 물체 5  
 Fig. 10. Results of 3D profile measurements: (a) Object 1, (b) Object 2, (c) Object 3, (d) Object 4, (e) Object 5.

체의 벨트 진행 방향의 길이, 즉 그림 상의 세로 화소 수를 의미하며, 17은 사용된 9개의 센서와 그 사이의 비측정 구역으로 구성되는 가로 화소수를 의미한다. 이 제 식 (12) 및 식 (13)을 적용하면 물체의 중심과 방위를 계산할 수 있다. 실험에 사용된 표 3의 물체들에 대한 계측 실험한 결과는 표 4에 요약한 바와 같다. 표에서 물체 2나 물체 5와 같이 좌표계에 대해 기울어진 방위를 가진 경우, 비교적 큰 오차를 보였다. 그림 10은 구성된 센서 장치에 의해 획득된 실험용 물체의 3차원 형상을 보여 주는데, 물체가 기울어질 경우 센서의 제한된 해상도 문제로 인하여 오차가 커짐을 알 수 있다.

## 5. 결 론

컨베이어 벨트에 의해 이송되는 임의 위치와 방위를 가진 직육면체의 물체를 계측하기 위한 3차원 센서 시스템을 PSD 배열을 이용하여 설계하였다. 본 논문에서 제안한 설계법은 다수의 PSD를 엇갈린 2차원 배열로 배치하고, 순차적으로 동작시킨 후, 그 센서 출력을 처리하여 물체의 3차원 형상을 구성하는 것이다. 최대 400 mm의 거리에서 최소 50×80×50 mm, 최대 80×120×100 mm의 다양한 물체를 측정하였을 때, 무게 중심 측정 오차의 최대치는 7.79 mm 였고, 방위 측정 오차의 최대치는 5.2°였으며, 높이 측정 오차는 최대 4.13 mm였다. 사용된 PSD 센서를 보정하기 위한 선형 혹은 비선형 모델이 제안되었으며, 비교 실험의 결과 비선형 모델이 약간 더 좋은 정확도를 보였다. 만약 본 실험에서와는 달리, PC가 사용되지 않고 마이크로컴퓨터를 사용하여 시스템을 소형으로 제작할 때는 선형의 모델이 그 간단성 때문에 더욱 유용할 수 있을 것이다. 본 논문에서 설계된 PSD 기반 3차원 계측 장치는 비슷한 목적으로 사용되는 스테레오 시각 장치나 레이저

스캐너에 비해 훨씬 저가로 구현될 수 있고, 비슷한 가격의 초음파 센서에 비해서는 좋은 해상도를 얻을 수 있는 장점이 있어 현실적으로 유용할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] J. Perez-Aragon and G. Recatala, "Distributed architecture for controlling a manufacturing cell", *Proc. IEEE Conf. Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 2, pp. 1130-1135, 2003.
- [2] M. Brudka and A. Pacut, "Intelligent robot control using ultrasonic measurements", *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, pp. 454-459, 2002.
- [3] I. S. Shin, S. Nam, H. G. Yu, R. G. Roberts, and S. B. Moon, "Conveyor visual tracking using robot vision", *Proc. Florida Conf. Recent Advances in Robotics (FCRAR)*, 2006.
- [4] C. Liguori, A. Paolillo, and A. Pietrosanto, "An on-line stereo-vision system for dimensional measurements of rubber extrusions", *Measurement*, vol. 35, pp. 221-231, 2004.
- [5] F. Hahn and R. Mota, "Nobel Chile Jalapeno sorting using structured laser and neural classifiers", *Lecture Notes in Computer Science(LNCS)*, vol. 1311, pp. 517-523, 1997.
- [6] 나승유, 박민상, "다단 송출전압을 이용한 초음파센서 시스템의 분해능 개선", *센서학회지*, 제6권, 제4호, pp. 298-306, 1997.
- [7] I. Matijevis, "Infrared sensors microcontroller interface system for mobile robots", *Proc. Int'l Symp. Intelligent Systems and Informatics*, pp. 177-181, 2007.
- [8] SHARP Corp., GP2Y0A02YK Datasheet.
- [9] R. Jain, R. Kasturi, B. G. Schunck, *Machine vision*, McGraw-Hill, New York, 1995.



김 종 만

- 2006년 2월 대구대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
- 2008년 2월 대구대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2008년 3월~현재. (주)관포산업 연구원
- 주관심분야 : 로봇시각, 센서시스템



도 용 태

- 1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1988년 서강대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1992년 영국 University of Hull 전자공학과 졸업(Ph.D)
- 1989~1992년 영국 University of Hull, Robotics Research Unit 연구원
- 1999년 미국 Carnegie Mellon University, Robotics Institute 객원부교수
- 2000년 미국 University of Wisconsin at Madison, 전기 및 컴퓨터공학과 명예 연구원
- 2003년 대구대학교 정보통신연구소 소장
- 2004년 영국 Imperial College (University of London), VIP Lab 객원교수
- 현재 대구대학교 전자공학부 교수, IJSTA(Int. J. Intell. Sys. Tech. App) 편집위원, JMechE(J. Mech. Eng) 편집위원, 한국센서학회 평생회원
- 주관심분야 : 로봇센서, 인공지능, 기계시각