

## 선형화 전압-거리 변환함수를 이용한 PSD센서기반 거리계측시스템의 개발

### Development of PSD Sensor Based Distance Measuring System Using Linearizing Function of Voltage-Distance Conversion

김유찬 · 유영재

Yu-Chan Kim, Young-Jae Ryoo

목포대학교 제어시스템공학과

#### 요 약

본 논문에서는 이동로봇의 저가형 위치인식센서로 적합한 PSD(Position Sensitive Detector)센서를 이용하여 거리계측시스템을 개발하였다. PSD센서는 거리-전압 출력이 비선형적인 단점을 가지고 있어 센서의 특성실험을 통해 선형화가 가능한 변환함수를 제안하였다. 제안한 방법을 검증하기 위하여 거리계측시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 구성하였다. 또 피측정체의 색상 및 재질에 따른 출력특성을 실험하고 거리-전압 데이터를 측정하였다. 실측한 데이터를 바탕으로 제안한 선형화함수의 계수를 추출하였다. 마지막으로 제안한 함수에 의한 거리와 실제거리를 비교하여 시스템의 성능 및 정확성을 검증하였다.

#### Abstract

In this paper, a distance measuring system using a PSD sensor is proposed, which is suitable for low-cost localization sensor of a mobile robot. Because the distance-voltage output of PSD sensor has a non-linear property, the linearizing function is proposed through the experimental characteristics of the sensor. And the characteristics are tested and the distance-voltage data are measured in various colors and materials of object. The parameters of the proposed function are extracted by using the measured data. Finally, the performance and the accuracy of the developed system are verified according to the comparison of the distance by the proposed function with the real distance.

**Key words** : PSD sensor, Distance measuring system, Voltage-Distance conversion, Linearizing function

## 1. 서 론

최근 지능형 로봇산업은 국가 성장 동력산업으로 지정되어 정책 및 산업적인 지원이 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 가정용로봇은 세계적으로 시장 규모가 크고 관련기업들이 시급히 제품화하고자 하는 분야이다[1,2]. 가정용로봇의 종류를 살펴보면 청소로봇, 심부름 로봇, 가사지원로봇, 경비로봇 등이 있다. 이러한 로봇들의 보급을 위해서는 저가형 위치인식시스템이 가장 중요한 부분을 차지한다.

이동로봇의 위치인식방법은 상대위치인식법과 절대위치인식법 두 종류가 있다. 상대위치인식에는 대표적인 방법으로 모터의 회전수를 검출하여 거리와 방향각을 계산하는 엔코더와 각속도를 이용한 방향각 보정을 할 수 있는 자이로스코프가 있다[3]. 첫 번째 엔코더는 로봇이 이동하면서 발생하는 방향각 오차가 누적되어 위치오차의 증가를 유발하는 단점이 있다. 두 번째 자이로스코프는 고가이며 현재 위치를 계산하기 위해서 센서의 출력을 적분하게 되는데 작은 오차가 적분 과정을 통해서 큰 위치오차를 발생시키는 단점이 있다. 이와 같은 상대위치인식법의 단점을 극복하기 위하여 절대위치인

식법이 사용된다.

절대위치인식법에는 초음파센서나 카메라의 영상을 이용하여 로봇주변의 지도를 작성하고 거리정보를 구하는 방법 등이 있다[4]. 초음파센서는 측정분해능이 좋지 못해 각 물체에 따른 반사와 신호의 오차가 크다. 따라서 정확한 거리 정보를 얻지 못한다. 카메라를 이용하는 방법은 영상을 처리하기 위하여 고가의 장비가 필요하다. 또한 영상을 처리하는데 많은 시간이 소요되어 실시간 처리가 어려운 단점이 있다.

이러한 단점들을 보완하기 위하여 PSD센서를 이용한 방법이 연구되었다[5]. 이 방법은 PSD센서를 이용하여 거리정보를 추출한다. 이때 사용된 PSD는 2차원 구조로 매우 고가이기 때문에 상용화가 어려운 한계를 가지고 있다. 따라서 저가형 1차원 구조의 PSD센서를 이용한 거리정보 인식방법의 개발이 요구되고 있다. 하지만 이 센서는 전압 출력이 비선형적인 특성을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 비선형적인 특성의 PSD센서로부터 선형화 함수를 추출하여 거리계측시스템에 적용하고 개발하고자 한다.

시스템의 구현을 위해서는 첫째 PSD센서의 비선형 특성을 분석하고 거리에 따른 출력 전압을 획득한다. 둘째 획득한 데이터로부터 선형화 전압-거리 변환함수를 만들고 각각의 계수를 추출한다. 또한 거리계측 시스템을 구성하여 선형화 함수를 적용하고 거리-전압 값을 구한다. 마지막으로 변

접수일자 : 2005년 3월 18일

완료일자 : 2005년 10월 7일

환함수에 의해 얻어진 데이터와 실제 거리 데이터의 비교 분석을 통해 본 시스템의 성능을 평가한다.

## 2. PSD센서의 특성

### 2.1 PSD센서의 동작원리

그림 1은 PSD센서의 동작원리를 나타낸다. LED drive circuit을 통해 적외선이 발산되면 물체에 반사되어 PSD의 IR 수광부로 입사된다. 입사된 적외선은 signal processing circuit과 output circuit을 통해서 전압으로 출력되는 구조를 가지고 있다. PSD 센서는 물체 A와 B에 반사된 적외선이 거리에 따라 입사각의 위치가 달라지는 원리를 이용한다. 그러므로 적외선이 입사되는 위치에 따라 전압 신호가 다르게 출력된다.

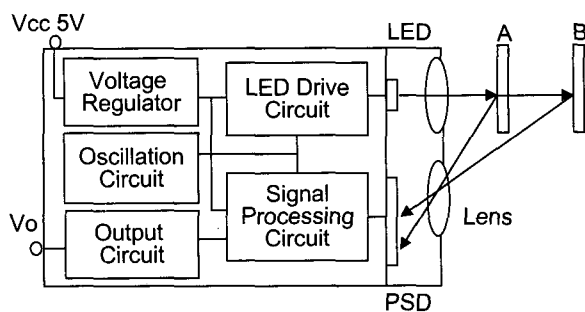


그림 1. PSD센서의 동작원리.  
Fig. 1. Principle of PSD sensor.

### 2.2 PSD센서의 특성

본 논문에서 사용한 PSD센서는 측정범위가 20~150[cm] 까지 가능하며 그림 2는 센서의 특성을 실험한 결과이다. 거리-전압의 특성이 비선형적으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 비선형 특성은 실제거리 변화에 대한 출력전압이 일정하지 않다. 이 단점을 개선하기 위해 선형화 거리-전압 변환함수가 요구된다.

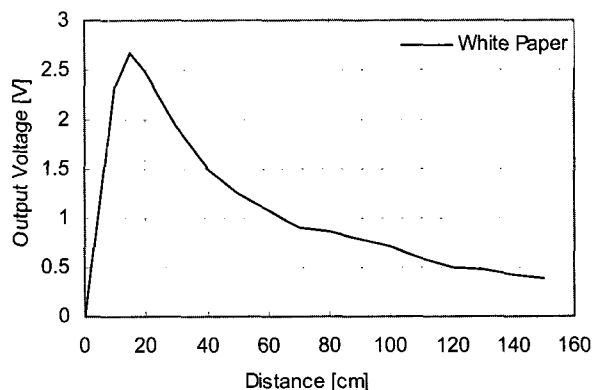


그림 2. PSD센서의 출력 특성.  
Fig. 2. Output characteristic of PSD sensor.

### 2.3 선형화 변환함수

그림 3은 전압-거리에 따른 선형화 변환유도과정을 나타

낸다. 먼저 실험을 통해 거리-전압 데이터를 획득하였다. 그림 2의 특성곡선을 살펴보면 센서의 사용측정 범위인 20~150[cm] 구간에서 반비례 특성을 나타냄을 볼 수 있다. 따라서 반비례 특성을 선형화 방정식으로 변환하고자 한다.

선형화 방정식을 사용할 경우 구간데이터들을 table로 사용하였을 때 보다 메모리 용량을 효율적으로 사용할 수 있다. 예를 들어 table시 구간정보로 100개의 데이터가 필요한 경우 메모리 할당에는 400byte가 필요하다. 하지만 선형화 방정식을 사용할 경우 파라미터 3개만을 사용하므로 12byte의 메모리만 있으면 된다. 이는 로봇이 상용화로 가는 시점에서 저사양의 시스템을 구축하는데 큰 영향을 줄 것이다.

먼저 센서의 반비례 방정식을 다음과 같이 정의한다.

$$V = \frac{1}{(D + K)} \quad (1)$$

여기서,  $V$  = 출력전압,  $D$  = 거리,  $K$  = 오차계수 이다. 위의 반비례 특성방정식을 선형화 함수인 직선의 방정식 ( $y = m \cdot x + b$ )으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{1}{(D + K)} = m \cdot V + b \quad (2)$$

여기서,  $m$  = 기울기,  $b$  =  $y$  절편이다.

위 식을 거리에 따른 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$D = \frac{1}{(V \cdot m) + b} - K \quad (3)$$

유도된 함수를 사용하기 위해서는 적절한 계수  $m$ ,  $b$ ,  $K$ 를 선정해야 한다. 이 값들은 실험데이터를 이용한 LMS(Least Mean Square)법을 이용하여 추출 가능하다.

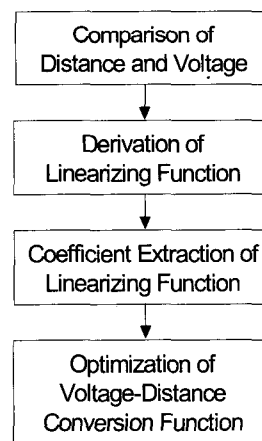


그림 3. 변환함수 유도과정.  
Fig. 3. Deriving procedure of conversion function.

## 3. 거리계측시스템의 구성

### 3.1 거리계측시스템의 구조

그림 4는 개발한 거리계측시스템의 전체 구조를 나타낸다. PSD센서로부터 측정된 신호가 입력된다. 신호는 증폭한 후 A/D컨버터를 통해 디지털 값으로 변환된다. 변환된 값은 전압-거리 선형화 함수에 적용되어 거리 값이 된다. 적절한 계

수가 결정되면 최적의 변환함수로 사용할 수 있다.

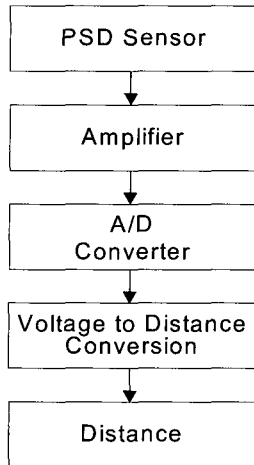


그림 4. 거리계측시스템 구조.

Fig. 4. Structure of distance measuring system.

### 3.2 거리계측시스템의 하드웨어 구성

그림 5는 구현된 PSD기반 거리계측 시스템의 하드웨어 구성장치이다. 센서의 미세한 신호를 증폭하기 위하여 amplifier를 설계하고 구성하였다. 그래픽기반 프로그램으로 NI사의 LabView를 이용하여 user interface program을 개발하였다. 마지막으로 A/D변환을 위해 DAQCard-6062E를 사용하였다.

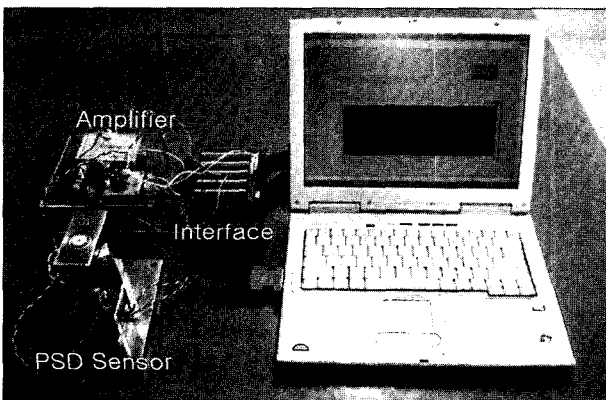
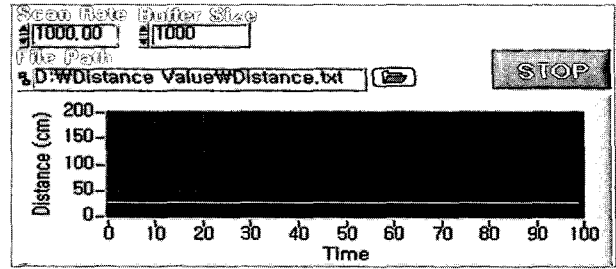


그림 5. 개발한 거리계측시스템.

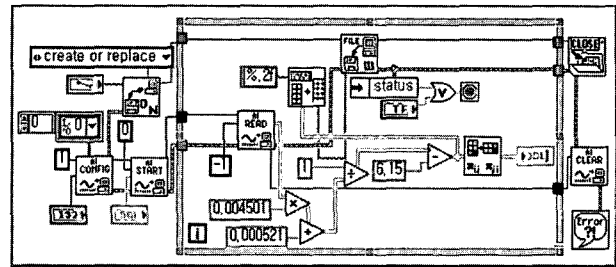
Fig. 5. Developed distance measuring system.

### 3.3 거리계측시스템의 소프트웨어 구성

그림 6은 LabView를 이용하여 구성된 거리계측 시스템의 프로그램이다. (a)는 user interface program 이고 (b)는 블록 다이어그램 기반 알고리즘을 나타낸다. 전압 값이 입력되면 선형화함수에 적용된 후 거리 값으로 변환되고 이를 화면으로 출력해준다.



(a)



(b)

그림 6. 개발된 거리계측 프로그램.

Fig. 6. Developed distance measuring program.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 피측정체의 색상과 재질에 따른 출력 특성

PSD센서가 피측정체의 색상과 재질에 따른 출력 변화를 파악하기 위하여 다음 세 가지 조건으로 실험 하였다. 실험 조건은 물체를 20~150[cm]까지 10[cm]간격으로 이동하며 10회 반복측정 후 평균값을 산출하였다. 첫 번째로 흰색 종이(white paper)와 검은색 종이(black paper)의 출력 전압특성을 측정하였다. 두 번째로 갈색목재(brown wood)의 출력 전압의 특성을 측정하였다. 실험 결과, 그림 7과 같이 PSD 센서는 매질과 색상에 따른 거리의 출력 값이 유사하게 나타났다. 본 논문에서는 흰색종이(white paper)를 기준으로 실험을 한다.

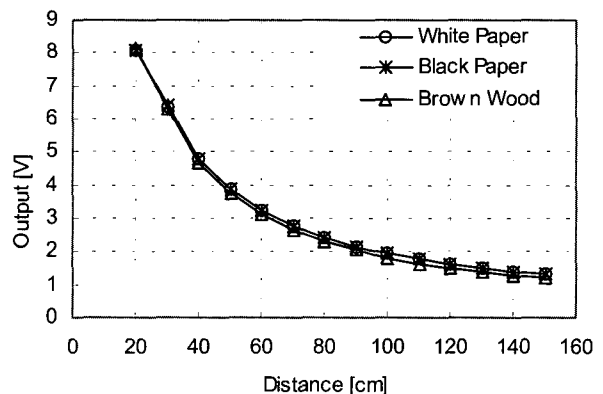


그림 7. 매질의 종류와 색상의 따른 출력 특성.

Fig. 7. Output characteristics along to material and color of object.

### 4.2 거리-전압 실측데이터

그림 8은 거리-전압의 실측 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프는 물체를 10[cm] 간격으로 20~150[cm] 까지 10회 반복 측정된 값이다. 오차 값이 큰 차이가 없어 그래프 상에 데이터들이 겹쳐진 것을 볼 수 있다. 이를 평균한 값을 이용하여 선형화함수 식을 유도하는데 적용한다.

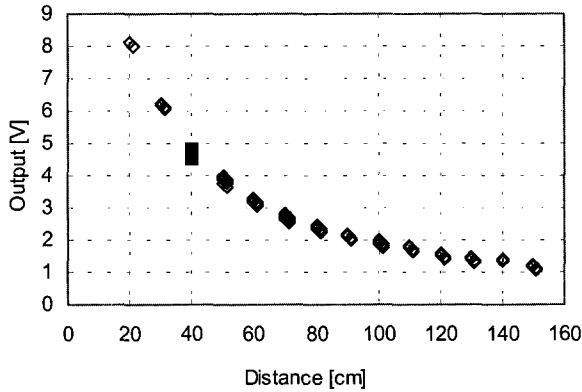


그림 8. 거리-전압 실측데이터.  
Fig. 8. Compare of distance and voltage.

### 4.3 선형화 계수의 추출

계측된 실측 데이터를 제안한 선형화 전압-거리함수에 적용하였다. 그림 9는 전압-거리함수를 이용하여 나타낸 전압-거리의 선형화된 그래프다. 기울기  $m$ 과  $y$ 절편  $b$ 값은 그래프의 데이터를 통해 얻게 된다. 기울기  $m$ 값은 0.004501이며,  $y$ 절편  $b$ 값은 0.000521이 된다.

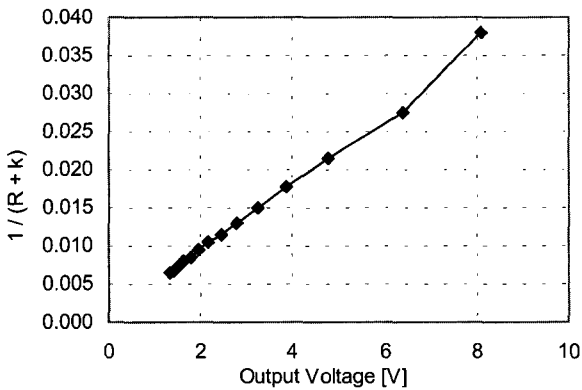


그림 9. 선형화된 특성곡선.  
Fig. 9. Linearized characteristic curve.

이때 선형화 함수의 계수  $K$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.  $K$ 의 변화는 전압-거리 변화에 큰 영향을 주기 때문에 실측 데이터의 선형화시 가장 작은 오차를 발생하는  $K$ 로 선정해야 한다. 가장 적절한  $K$ 값을 구하기 위해 다음과 같은 SSE(SUM of Squared Error)를 정의 한다.

$$SSE = \sum E = \sum_{d=20}^{150} (\text{실측거리} - \text{변환거리})$$

그림 10은  $K$ 를 5부터 8까지 변화함에 따른 SSE값을 보

여주며 가장 작은 오차를  $K$  값은 6.15일 때 이다.

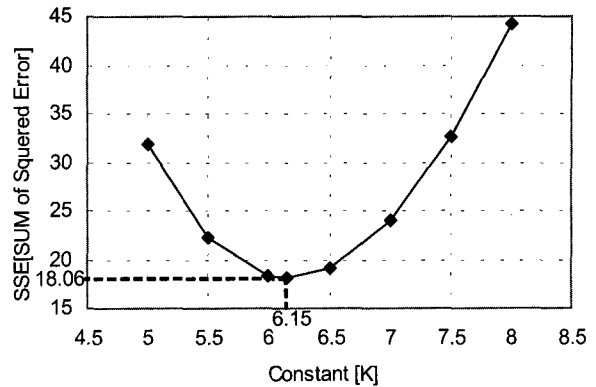


그림 10.  $K$ 의 오차분포.  
Fig. 10. Error distribution with  $K$ .

### 4.4 변환거리와 실측거리의 성능비교

제안한 선형화 전압-거리 변환함수를 이용한 변환거리의 성능을 평가하기 위하여 실측데이터와 비교하였다. 그림 11은 변환거리와 실측거리와의 비교 데이터를 보여주고 있다. 실선은 실제거리를 점선은 변환거리를 나타낸다. 또한 두 데이터의 오차 값을 나타내고 있다. 오차 값을 보면 선형화함수를 이용하여 데이터 값을 변환한 값과 실측거리와의 데이터 값이 최대 2[cm] 내에서 일치함을 알 수 있다. 그러므로 개발된 거리측정시스템은 사용범위 20~150[cm] 거리에서 최대오차  $\pm 2$ [cm] 내로 거리오차  $\pm 1.33\%$ 의 성능을 가진다. 따라서 개발된 시스템은 가정 내에서 사용되는 홈서비스로봇의 위치인식용으로 사용가능하다.

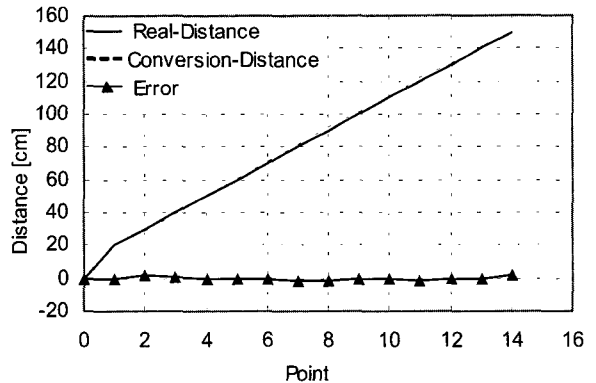


그림 11. 변환거리와 실측거리의 비교.  
Fig. 11. Comparison of conversion distance and real distance.

## 5. 결 론

본 논문에서는 1차원 PSD센서를 이용한 저가형 거리측정 시스템을 구현하였다. 이를 위해 먼저 실험을 통한 거리-전압 데이터를 획득하였다. 획득한 데이터를 이용해 비선형적인 출력 특성을 분석하고 선형화 함수에 적용하여 변환하였

다. 또 선형화 함수에 따른 계수들을 추출하여 정확한 거리 값을 산출하였다. 마지막으로 획득한 거리데이터와 실측 거리데이터의 비교 및 분석을 통해 시스템의 정확성을 검증하였다. 그 결과 개발한 거리계측 시스템은 저가형시스템으로  $\pm 1.33\%$  오차 범위 내의 성능을 보여주었다. 향후 가격의 저가화가 절실한 가정용 서비스로봇에 개발한 거리계측시스템을 적용하면 상용화가 가능할 것으로 예상된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 이호길, 박상덕, "산업자원부 지능형 로봇산업 발전 전략", 한국로봇공학회지 로봇과 인간, pp. 5-14, 2004.
- [2] 오상록, "네트워크기반 지능형 서비스 로봇", 한국로봇 공학회지 로봇과 인간, pp. 21-32, 2004.
- [3] 정학영, 박규철, "서비스로봇을 위한 보급형 위치정보시스템", 제어·자동화·시스템공학회지, 제8권, 5호, pp.23-29, 2002. 9.
- [4] 정인수, 조형석, "전방향 능동 거리센서를 이용한 2차원 거리 측정", 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제5권, 제4호, pp.437-445, 1999. 5.
- [5] 노영식, "이동 로봇의 위치측정을 위한 PSD 센서 시스템에 관한 연구", 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제2권, 제4호, pp.330-336, 1996. 12.

### 저 자 소 개



**김유찬(Yu-Chan Kim)**

2004년 : 목포대학교 제어시스템공학과 공학사  
2004년~현재 : 동 대학원 제어시스템 공학과 석사과정

관심분야 : 지능형이동로봇, 신경망  
E-mail : yukim@mokpo.ac.kr  
Homepage : <http://iclab.mokpo.ac.kr>



**유영재(Young-Jae Ryo)**

제15권 제1호(2005년 4월호) 참조