

2 차원 광학 위치센서에 관한 연구

오 준호, 제 우성, 임 준영
한국과학기술원 생산공학과

A Study on The Rotation-free Optical Position Sensor
in Two Dimensional Tracking

Jun H. Oh, Seong W. Che and Jun Y. Yim
Dept. of Production Engineering, KAIST

ABSTRACT

This paper deals with the rotation-free optical sensor which will be used for two dimensional robot tracking. This sensor consists of position sensing device and coordinate transformation unit which transform the sensor coordinate into base coordinate. A new coordinate transformation algorithm which use analog signal is presented, and an analog circuit based on this algorithm is constructed. To prove the rightness of this algorithm, some experiments are carried out. And the performance of this sensor is investigated.

1. 서론

현재 산업현장의 많은 분야에서 로봇을 사용함에 따라, 그 기능의 다양함과 공작물의 위치변화등과 같은 주변상황의 변화에 대하여 능동적으로 대처할 수 있는 능력이 요구되어지므로 이를 위한 센서 개발이 필수적이다.

일반적으로 주변상황에 대한 정보중에서 로봇의 핸드 부근의 위치정보를 얻는 것은 로봇의 해상도를 증가시키기 위한 중요한 문제중의 하나이며 이를 해결하기 위해 근접센서의 개발이 요구된다.

근접센서는 이미지를 이용한 시각센서와 접촉센서 사이의 틈을 메워주는 센서의 한부분을 점하고 있으며, 거리를 측정하는 방법으로써 광에 의한 방법, 전자기에 의한 방법, 초음파를 이용한 방법등이 있다. 특히 광에 의한 방법은 현재 많은 연구중에 있으며, 크기가 작아 로봇 핸드에 부착이 용이한 점, 반사물의 재료의 성질에 거의 제한이 없다는 점 등의 장점이 있는 반면, 반사물의 reflectivity 에 영향을 받고 공간상에서 얻어진 정보를 처리하는 장치가 복잡하다는 단점이 있다.

그러나 이러한 근접센서를 로봇의 핸드에 부착했을 경우 로봇의 자세(configuration)가 변화하게 됨으로 인하여 센서좌표계는 기준(base)좌표계에 대해 회전하게 된다. 그러므로 일반적인 방법으로 로봇을 구동하기 위해서는 센서좌표계에 대한 정보를 기준좌표계에 대한 정보로 변환시키는 좌표변환이 필요하다.

본 논문에서는 둥근 봉 형태의 target과 4쌍의 IR LED 와 Photo TR, Optical fiber들을 이용하여 간단한 형태의 거리 측정장치를 구성하였다. 그리고 센서 좌표계에 대한 위치정보를 기준 좌표계에 대한 정보로 바꾸는 좌표변환을 수행하기 위해 아날로그 신호를 이용하는 새로운 알고리즘을 제시하였다. 이 알고리즘을 이용한 좌표변환 아날로그 회로를 구성하였으며, 이 회로를 이용한 실험을 통해 본 논문에서 제시된 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

2. 센서 시스템

센서시스템은 위치측정장치와 좌표변환을 하기 위하여 신호를 처리하는 좌표변환회로로 구성된다.

2-1 위치측정장치

이 장치는 표적이 센서좌표계의 원점으로부터 빛이나 있는 양을 측정하기 위한 것이다. 회로에 있는 4쌍의 발광소자와 수광소자에 광섬유들(optical fibers)의 한쪽단을 각각 연결하고, 광섬유의 다른 한쪽단을 그림(1)과 같이 구성된 다음 로봇 핸드부분에 부착한다. 표적에서 반사된 빛은 광섬유를 통해 포토트랜지스터에 전달되고, 이로인하여 포토트랜지스터로부터 전압이 발생되며 다시 이 출력은 밴드패스필터를 통과하게된다. 각 세부적인 부분을 기능별로 나누어 설명하면 다음과 같다.

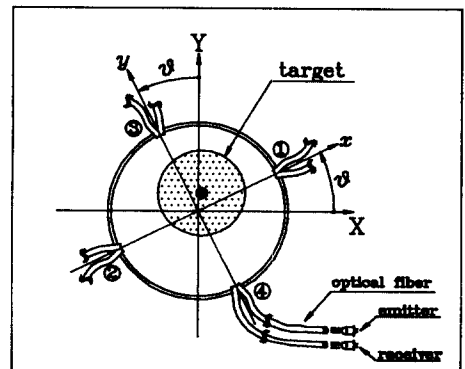


Fig.1 The position sensing unit

2-1-1 발광부와 수광부

LBD와 포토트랜지스터는 광전자 주식회사의 EL-23F와 ST-23F를 사용하여 회로에 부착되어 있으며 4쌍의 광섬유를 통해서 로봇트 핸드쪽으로 연결되어 있다. 로봇트 핸드위에 부착된 광섬유의 한쪽 끝단들은 그림(1)에 나타나 있는 것처럼 센서 좌표계를 이루며 원주상에 부착되어 있다.

2-1-2 LED구동회로

이회로는 펄스 발생회로와 스위치 회로 구성되며 타이머 555를 이용하여 펄스 발생회로를 구성하였으며 이펄스의 주파수와 duty cycle은 외부의 가변저항으로 조절 할 수 있게 하였고 실험할 때는 주파수를 4KHZ, duty cycle을 10%로 하였다. 트랜지스터(CS200)를 LED를 펄스구동하기 위한 스위치로 사용하였다. 이처럼 LED를 펄스 구동하는 것은 순간적으로 LED에 많은 양의 전류를 순간적으로 흐르게 하여 강한 빛을 발생시켜서 LED의 수명을 길게 하고 수광부에서 신호를 얻을때 구동 주파수에 해당하는 신호만을 얻으므로써 S/N 비율을 증가시키기 위해서 이다.

2-1-3 포토 트랜지스터 감지회로

표적으로 부터 반사되어진 빛은 광섬유를 통해서 포토 트랜지스터로 전달되어지고 빛의 세기에 비례하는 신호를 얻은 다음 4KHZ를 공진 주파수로 하는 밴드패스 필터를 통과시켜 정현파신호를 얻는다.

2-2 좌표변환회로

좌표변환회로는 센서좌표계에 대한 정보를 기준좌표계에 대한 정보로 바꾸는 장치이다. 위치측정장치로부터 나오는 정현파 신호와 모터의 엔코더로부터 나오는 회전각도에 대한 정보를 이용하여 좌표변환을 행한다. 이 회로의 구성은 그림(2)와 같으며, 이 방식은 본 논문에서 제시한 새로운 좌표변환 알고리즘

의 원리에 의한 것이다. 그리고 이 회로는 아날로그 신호만을 이용하였으므로 빠른 응답 속도와 적은 컴퓨터 부하를 기대할 수 있다.

2-2-1. 좌표변환 알고리즘의 원리

센서좌표계에대한 표적의 위치에따라 각각의 수광부는 표적과의 거리에 비례하는 전압을 발생시키며, 이 출력전압은 밴드패스 필터를 통과하게된다. 밴드패스필터를 통과한 다음의 출력신호는 아래와 같은 sinusoidal 함수로 표시된다.

$$V_i(t_i) = S_i(s) \sin(\omega t_i + \phi_i) \quad (1)$$

여기서 i : 그림(1)에서 규정한 각 수광부 및 이것에 직렬로 연결되어 있는 소자로 부터 나오는 신호의 번호

$S_i(s)$: i 번째 정현파신호의최대치

s : 센서좌표계의 x 와 y

식(1)로 표시되는 신호는 아날로그 회로를 통하여 다음과 같은 좌표변환과정이 이루어진다. 회로의 개략적인 구성과 신호처리과정이 그림(2)에 도시되어있으며, (2)번, (4)번 수광부로부터 나오는 신호도 같은 방식으로 처리된다.

- 1) 센서좌표계의 y 축에 해당하는 부분으로 부터 나오는 정현파(sinusoidal wave) 신호는 OP Amp를 이용한 Phase shifter를 이용하여 90 phase lag 시킨다.

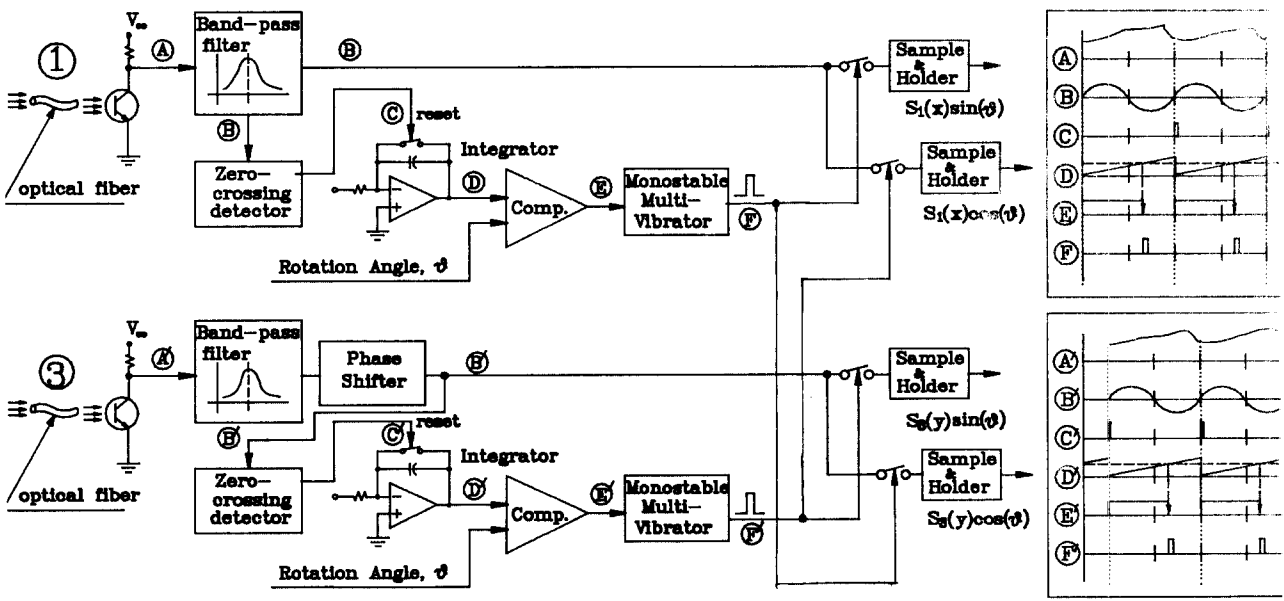


Fig.2 The schematic diagram of basic circuit which produce analog signal corresponding to rotation angle

- 2) 그림(2)에 나타나 있는 것 처럼 각각의 정현파 신호에 동기된 톱니파를 비교기와 적분기를 이용하여 발생시킨다.
- 3) 모터의 엔코더 신호로부터 센서좌표계에 기준좌표계 사이의 각도를 알 수 있으며, 이 각도에 해당하는 전압과 각각의 톱니파를 비교하여 값이 같아지는 순간에 펄스를 발생시킨다. 이때 톱니파의 최대치는 엔코더 신호의 360°에 해당하는 전압과 같아야한다. 각각의 톱니파에 동기되어있는 정현파 신호의 값을 펄스가 발생하는 순간에 샘플링하면 이때에 샘플링된 값은 센서와 표적사이의 거리에 비례하는 정현파의 최대치에 $\sin(\theta)$ 값을 곱한 값이된다.

$$\begin{aligned} V_1(T_1) &= S_1(x) \sin(\theta) \\ V_2(T_2) &= S_2(x) \sin(\theta) \\ V_3(T_3) &= S_3(y) \sin(\theta) \\ V_4(T_4) &= S_4(y) \sin(\theta) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 θ : 센서 좌표계와 베이스 좌표계 사이의 각도
 : i번째 수광부에 연결되어 있는 비교기에서 펄스를 발생하는 순간의 시간
 $V_i(T_j)$: i번째 정현파 신호를 j번째 비교기에서 발생한 펄스로 샘플링한 값

T_i : $t_i < T_i < t_{i+T}$
 T : sampling time

4) 그림(2)에서 알 수 있듯이 센서좌표계에서 x축(1번)과 y축(3번)에 해당하는 정현파 신호는 90°의 위상차를 가지고 있으므로 y축에 해당하는 정현파 신호와 동기된 톱니파에서 발생한 펄스로 x축에 해당하는 신호를 샘플링하면 정현파의 최대치에 $\cos(\theta)$ 를 곱한 값이 되고, 같은 방법으로 다음과 같은 식으로 표시되는 신호를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} V_1(T_3) &= S_1(x) \cos(\theta) \\ V_2(T_4) &= S_2(x) \cos(\theta) \\ V_3(T_1) &= -S_3(y) \cos(\theta) \\ V_4(T_2) &= -S_4(y) \cos(\theta) \end{aligned} \quad (3)$$

5) 식(2)와 식(3)으로 표시되는 아날로그 신호를 서로 대응하는 것 끼리의 차를 구함으로써 다음과 같은 센서 좌표계에 대한 표적의 위치오차를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} E_x \sin(\theta) &= V_1(T_1) - V_2(T_2) = S_1(x) \sin(\theta) - S_2(x) \sin(\theta) \\ E_y \sin(\theta) &= V_3(T_3) - V_4(T_4) = S_3(y) \sin(\theta) - S_4(y) \sin(\theta) \\ E_x \cos(\theta) &= V_1(T_3) - V_2(T_4) = S_1(x) \cos(\theta) - S_2(x) \cos(\theta) \\ E_y \cos(\theta) &= V_4(T_2) - V_3(T_1) = S_4(y) \cos(\theta) - S_3(y) \cos(\theta) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 E_x, E_y : 센서좌표계에 대한 위치오차

6) 식(4)로 표시되는 센서좌표계에 대한 위치오차 E_x, E_y 는 아날로그 신호이며 이들을 아래와

같이 조합함으로써 기준좌표계에 대한 위치오차를 얻을 수 있다. 이상과 같은 과정을 통해 좌표변환이 아날로그 신호로 이루어지며 최종적으로 얻은 식(5)로 표시되는 신호는 기준 좌표계에 대한 표적과 센서사이의 위치오차이므로 이것을 관찰 좌표계에 대한 값으로 바꾸어 Moter를 구동하게 되면 움직이는 표적(target)을 로봇트기 추적하게 된다.

$$\begin{aligned} E_x &= E_x \cos(\theta) - E_y \sin(\theta) \\ E_y &= E_x \sin(\theta) + E_y \cos(\theta) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 E_x, E_y : 기준좌표계에 대한 위치오차

3. 실험 및 고찰

완성된 회로를 통하여, 알고리즘의 타당성을 증명하고 위치측정장치에 대한 표적의 상대적인 거리와 출력전압의 상관관계를 도출 하기위해 실험을 행하였다.

3-1 실험장치 및 방법

그림(1)은 실험을 위한 장치의 개략도 이다. 표적을 x-y table에 고정시키고, x-y table을 이송시키면서 실험을 행하였다. 이때 x-y table은 발링베드를 사용하였다. 그림(1)의 위치측정장치(광섬유 고정장치)를 발링의 척에 끼우고, 표적을 발링베드에 고정시킨 다음, 베드를 이송시킨다. 이송거리를 다이얼게이지로 측정 하고, 센서로부터 나오는 신호를 디지털 오실로스코프로 측정 하면서 A/D 변환기를 통해 IBM PC XT를 이용하여 데이터를 받았다. 실험에 사용한 표적은 직경 25mm이고 위치측정장치의 내경은 28mm 이다. 실험은 다음과 같은 2가지 경우에 대하여 행하였다.

- 1). 발링척에 고정시킨 위치측정장치를 0°로 유지하게한 다음 x-y table을 x 방향으로만 혹은 y 방향으로만 움직이면서 표적과 수광부사이의 거리에 따라 크기가 변화하는 각 정현파의 최대치를 측정하여 각 수광부의 특성을 파악한다.
- 2). 위치측정장치의 회전각도와 표적의 위치를 변화시켜 가면서 식(5)로 표시되는 최종단의 출력을 측정한다.

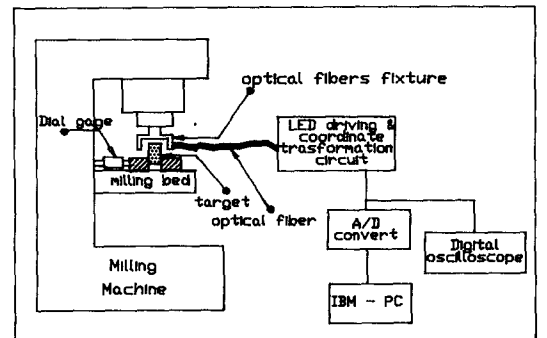


Fig3 Schematic diagram of Experimental devices

3-2 실험결과 및 고찰

첫번째 실험결과는 그림(4)에 나타나있으며, 수광부와 표적사이의 거리와 정현파의 최대치사이의 관계는 중모양을 하고있으며 각각의 수광소자의 특성이 다른 이유로해서 조금씩 다른 곡선을 나타내고있다. 그림(4)에서 수 있듯이 표적이 A-B 구간에 있을 경우 거리가 가까워짐에도 불구하고 전압이 감소함으로 인해 일단 수광소자의 전압차로써 위치오차를 발생시키려고하는 방법에 문제점을 야기한다. 이러한 문제를 해결하기위해 표적의 크기를 매우 크게하여 A-B구간을 위치오차를 발생시키는 구간으로 설정하는 방법이 있겠으나 표적이 너무 위치오차 측정장치에 밀착된다는 단점이 있으므로 본 연구에서는 로봇트가 발생된 위치오차를 빠른 속도로 영으로 만든다는 가정하에서 B-C 구간을 거리측정구간으로 사용하기로한다. 두번째 실험결과는 그림(5)에 나타나 있다. 회전각도 0° , 90° 두가지 경우에 대한 결과이며 x-y table의 x방향만을 움직이며 실험하였다. 센서좌표계가 회전함에도 불구하고 회로의 최종단에서 나오는 출력은 기준좌표계에 대한 위치오차를 알 수 있고, -0.7mm 에서 0.7mm 사이구간에서 선형성이 뛰어남을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 간단한 위치오차 측정장치를 구성하였고, 아날로그 회로를 통하여 광센서로부터 나오는 센서좌표계에 대한 위치오차를 기준좌표계에 대한 위치오차로 좌표 변환하는 알고리즘을 제시하였으며 실험을 통해 증명하였다. 이로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- (1) 위치오차 측정장치의 구조가 간단함으로 로봇트 핸드에 부착이 용이하다.
- (2) 실험결과로부터 제시한 알고리즘의 타당성 입증할 수 있다.
- (3) 아날로그 회로를 통하여 좌표 변환을 수행함으로써 매우 빠른 속도의 계산이 가능하고, 컴퓨터에 적은 부하가 걸린다. 그러므로 로봇트의 실시간 추적문제 적용함에 있어서 유리함을 알 수 있다.

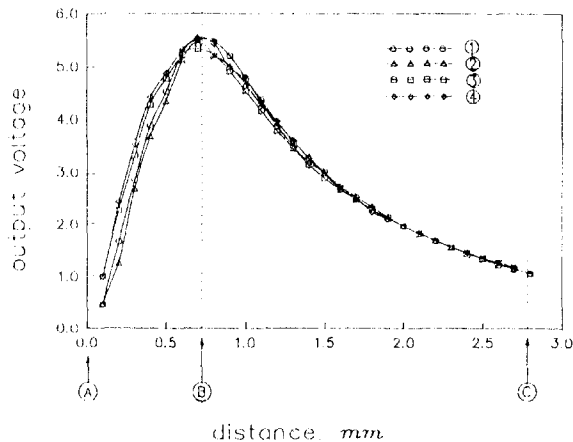


Fig4 Characteristics of receivers

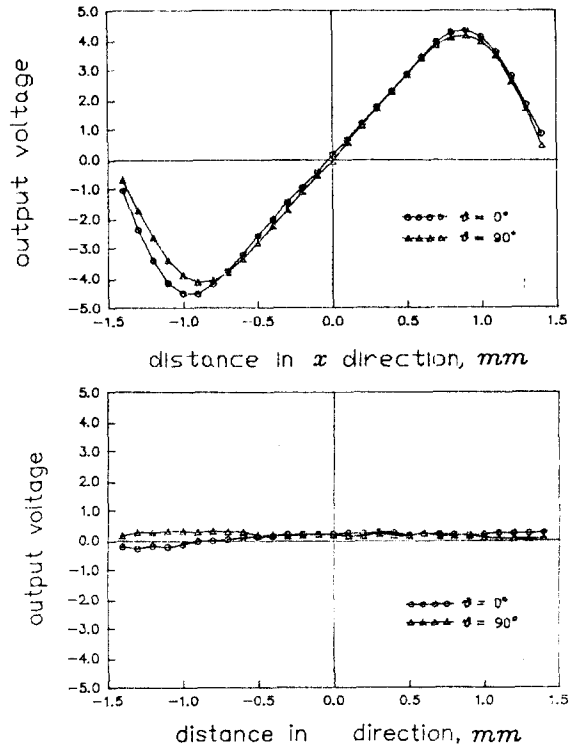


Fig5 output voltage corresponding to target distance
above: X direction in base coordinate
below: Y direction in base coordinate

References

- [1] A.R.Johnston, "Optical proximity sensors for manipulators, "Jet Prop. Lab., Cal. Inst. of Tech., Pasadena, 91103, Tech. mem. no.33612, 1973
- [2] B.EŞpiau and J. Y.Catros, "Use of Optical reflectance sensors in Robotics Applications," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cyber., VOL. SMC-10, NO12, 1980
- [3] Moshe Shoham, "An Optical Sensor for Real Time positioning, Tracking and Teaching of Industrial Robot," IEEE Trans. on industrial Electronics, VOL. IE-31, NO 2, 1984