

초정밀 엔코더를 위한 신호처리방법개발

Signal Processing Algorithm for High Precision Encoder

정규원*

충북대학교 기계공학부

충북 청주시 개신동 산 48

ABSTRACT

An absolute type shaft encoder which utilizes moire fringe will be presented in this paper. Linear moire fringe is commonly used to measure the displacement of the linear motion. However, an absolute encoder which measure the rotation angle of a shaft is operated usually with a code disk which the gray code pattern is printed on. Such encoder has inherently resolution limit because of the patterning mechanism and sensing mechanism.

In order to measure the position of fringes which move as the code disk rotates, neural network was developed in this paper. Formerly fringe position is usually measured by a sophisticated software, which needs a little long calculation time. However, using neural network method can eliminate such calculation time, even though it needs learning job. The proposed method is verified through several experiments.

Key Words: Absolute Encoder (절대위치 엔코더), Radial Grating (반경방향 그레이팅), Moire Fringe (모아레 프린지), Neural Network (신경 회로망).

1. 서 론

일반적으로 엔코더는 Fig.1과 같은 구조로

만들어져 있다. 정밀도를 높이기 위하여 여러 가지 방법이 시도되었다. 참고문헌 [1~3]등에서는 광섬유를 이용하였으나, 실용화하기 위해서는 광섬유 및 감지 소자의 크기가 마이크로이하로 소형화 되어야 하나, 기술적으로 매우 실현하기 어렵다. 또한 참고문헌 [4]의 방법은 전자적으로 고분해능 부분을 생성하기 때문에 기계적인 회전과는 무관하게 전자회로의 정밀도가 전체 엔코더의 정밀도를 결정한다. 선형 엔코더에 대하여는 참고문헌 [5]에서는 4점 모아레법(FPM)을 제안하였다. 여기에서는 리니어 스케일로 사용한 두 격자를 서로 중첩시키고 여기에 투과시킨 He-Ne 레이저의 0차 회절광으로 부터 얻어진 정현적인 모아레 무늬를 4개의 광 센서로 검출하여 변위에 따른 위상 변화량을 계산함으로써 비교적 간단하면서도 매우 정확하게 변위를 측정할 수 있는 변위 측정법을 개발하였다. 그러나 이 방법에서는 간섭무늬가 정현적이라고 가정하고, 수식적인 계산을 통하여 간섭무늬의 위치를 파악하고 있다. 모아레 간섭무늬는 여러 가지 장점이 있으므로 많이 연구되고 있다[6,7]. 본 논문에서 제안하는 엔코더의 핵심적인 코드디스크에는 Fig.2와 같이 일반적인 그레이(gray) 코드가 그려진 저분해능 부분과 반경방향 그레이팅이 그려진 부분으로 되어 있다. 그림에서는 3bit의 그레이 코드와 100개의 그레이팅이 그려진 것을 볼 수 있으나, 실용적으로 제작할 때는 저분해능 부분에는 10bit 정도의 그레이코드를 사용하고, 고분해능 부분 즉 11 ~ 16bit 부분의 데이터는 반경방향 그레이팅이 일으키는 간섭무늬로부터 구한다. 증분식 엔코더가 2000ppr 이상의 것이 실용화 되어 있으

므로, 2000라인 이상의 그레이팅은 용이하게 제작이 가능할 것이다. 이와 같은 반경방향 그레이팅과 인덱스 그레이팅이 발생시키는 모아레 간섭무늬는 원형으로 생성된다.

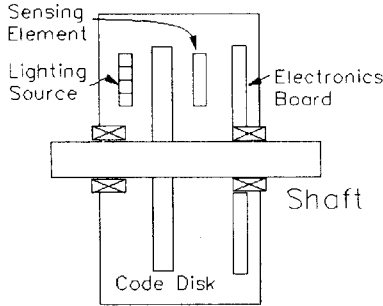


Fig. 1 Basic structure of optical encoder

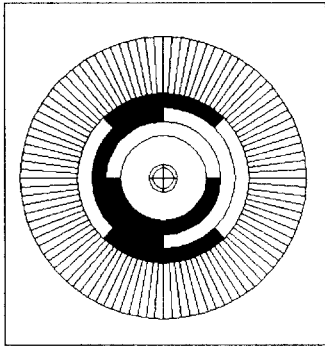


Fig. 2 Code disk with gray code and radial grating

2. 원형 간섭무늬

본 논문에서는 원형의 회전하는 디스크 (주격자판) 에 반경방향으로 일정한 각도의 간격을 갖는 그레이팅을 만들고, 정지하여 있는 인덱스 그레이팅에도 역시 주격자판과 같은 재료의 그레이팅을 만든다. 간섭무늬를 발생시키기 위하여 인덱스 그레이팅은 주격자판에 대하여 일정한 편심을 갖도록 설치한다. Fig.3은 전체 원에 $n=100$

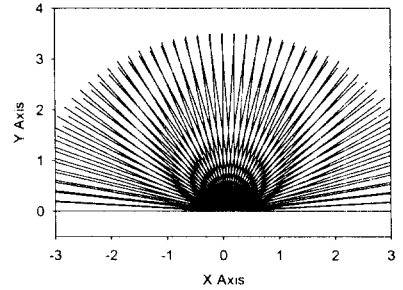


Fig. 3 Moire fringe from two radial gratings

개의 선을 그은 것이며, 주 격자와 인덱스 격자의 위치는 $\delta x=0.2\text{mm}$ 편심 시킨 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 간섭무늬는 원형이 된다. 또한 간섭무늬의 어두운 부분은 상당히 넓은 부분에 걸쳐서 형성되어 있으며, 어두운 부분의 폭이 원주를 따라서 변화하고 있다. 이것은 선형 그레이팅의 경우와 매우 다름을 알 수 있다.

3. 신호처리기법

선형 (Ronchi) 그레이팅이 일으키는 간섭무늬는 격자판의 이동에 따라 선형적으로 이동하는데 반해, 반경방향의 그레이팅이 일으키는 간섭무늬는 주격자판의 회전에 따라서 원형으로 퍼져나간다. 따라서 이와 같이 비선형적으로 이동하는 간섭무늬의 위치를 감지하기 위하여 비선형적인 신호처리기법이 필요하다. 여러 가지 방법이 있으나 본 논문에서는 최근에 많이 이용되는 신경회로망 기법을 이용하고자 한다. 신경회로망은 일반적으로 비선형 시스템을 학습시킬 수 있는 것으로 알려져 있다[8].

본 연구에서 사용하게 될 인공신경망은 다층 퍼셉트론으로 Fig.6과 같다. 이 그림은 1개의 입력층, 1개의 은닉층, 1개의 출력층을 갖는 인공신경망이다. 입력층과 은닉층 사이에는 연결강도를 표시하는 가중치가 있으며, 입력층과 은닉층 사이, 은닉층과 출력층 사이에 가중치 벡터가 있다. 이들의 값은 학습과정을 거쳐서 가장 최적의 값을 갖도록 결정된다. 또한 각각의 활성화함수에는

바이어스가 있다. 사용한 활성화함수는 은닉층에는 로그시그모이드 (logsigmoid) 함수를 사용하며, 출력층에는 탄시그모이드 (tansigmoid) 함수를 사용한다. 로그시그모이드 함수는

$$f(\cdot) = \frac{1}{1 + e^{-\cdot}} \quad (1)$$

으로 표시되며, 탄시그모이드 함수는

$$f(\cdot) = \tanh(\cdot) = \frac{e^{(\cdot)} - e^{-(\cdot)}}{e^{(\cdot)} + e^{-(\cdot)}} \quad (2)$$

으로 표시된다. 로그시그모이드 함수는 신경세포에 주어지는 입력이 $-\infty$ 에서 $+\infty$ 로 주어질 때 0 과 1 사이의 값이 주어진다. 반면에 탄시그모이드 함수는 -1에서 +1 사이의 값이 주어진다. 은닉층의 개수와 각 층의 노드의 개수가 많으면 더욱 복잡한 형태의 함수를 학습시킬 수 있으나, 반드시 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있는 것은 아니며, 계산시간이 많이 걸리는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 은닉층에는 10개의 노드를 갖도록 하였으며, 출력층은 1개의 노드를 갖는다.

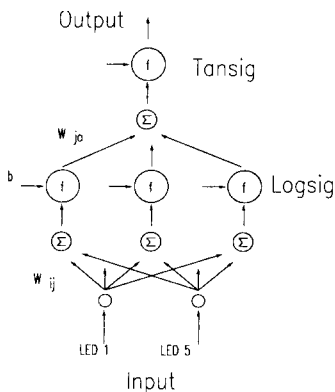


Fig. 4 Neural network for fringe processing

본 신경망의 학습 방법은 오차 역 전파 방법

(Error Back Propagation)을 사용한다. 앞에서 언급한 신경회로망을 이용하여 간섭무늬의 위치를 결정하기 위하여 간섭무늬로부터 입력 데이터를 얻도록 한다. 일반적인 증분식 또는 기존의 절대식 엔코더에서는 Fig.1 에서처럼 발광소자와 수광소자를 코드디스크 앞뒤로 배치하고 광량을 감지하도록 하고 있다. 본 논문에서도 가장 외곽의 간섭무늬가 이동하는 구간에 발광소자와 수광소자가 일정한 간격으로 배치되어 있는 것으로 가정하고, 수광소자로부터 얻은 광량을 신경회로망의 입력 데이터로 사용한다.

4. 실험

(4.1) 실험장치

본 논문에서 제안된 방법의 타당성을 검증하기 위하여 실험장치를 Fig.5와 같이 구성하였다. 실험장치는 코드 디스크, 인덱스 디스크, 회전 스테이지, CCD 카메라로 구성되었다. 정밀한 반경방향의 그레이팅은 광학적인 기술을 이용하여 전문적으로 제작하여야 하므로 비용이 많이 들므로, 일반적인 반도체 소자 제작에 사용되는 스크린 인쇄방식을 사용하여 유리판에 제작하였다. 실험에 사용된 그레이팅과 센서의 사양은 Table 1 과 같으며 Fig.6과 같다. 데이터 획득은 자연광 상태에서 CCD 카메라를 이용하여 Fig.7 과 같은 간섭무늬의 영상을 얻도록 하였으며, 이 영상으로부터 원형으로 표시된 부분의 평균 밝기를 수광소자가 받은 광량으로 간주하였다.

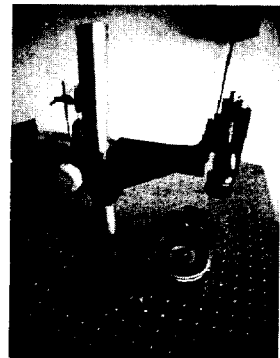


Fig.5 Experimental setup

Table 1 Radial disk specifications for the experiment

Grating pitch	$2\pi/360$ (rad)
Grating thickness	$2\pi/720$ (rad)
Sensor size	$\phi 20$ pixel
Sensor location	Vertical to offset direction
Disk offset	1.0mm

실험에 사용될 디스크를 제작하기 위하여 먼저 반경방향의 그레이팅을 CAD 프로그램을 이용하여 정밀하게 그렸다. 그레이팅의 크기는 내경 40mm, 외경 80mm인 원, 그레이팅의 개수는 1회전당 360개로 하였다. 즉 그레이팅 선의 간격이 0.5도이며, 그레이팅 간의 간격이 0.5도로 하였다. 이 도면을 이용하여 필름을 제작하고, 필름을 스크린에 놓고 감광시켜서 스크린에 패턴을 만든다. 스크린은 메쉬가 ST325이며 크기는 $320 \times 320 \text{mm}^2$ 이다. 제작된 스크린을 유리판 위에 놓고 흑색 페이스트를 스크린 위에 묻혀서 인쇄를 한다. 유리판과 스크린 사이에 약 1mm 정도의 적당한 간격을 유지하고, 페이스트의 점도를 적절히 조정하여야 한다. 인쇄가 끝난 유리판을 페이스트가 건조되고 밀착되도록 건조로내에서 건조시킨다. 건조시간은 약 10분정도이며, 온도는 600도로 한다. 온도를 급격히 가열시키면 유리가 파손되므로 10분정도에 걸쳐서 서서히 가열시킨 후 서서히 냉각시킨다. 이와같이 하여 Fig.6 에서 보는 바와 같이 반경방향 그레이팅이 제작되었다.

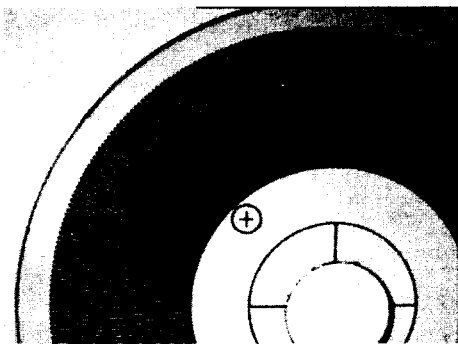


Fig. 6 Fabricated grating (partial view)

그레이팅을 광학실험에 사용되는 회전 스테이지 (Newport 481-A)에 장착하고, 마이크로미터를 이용하여 정밀하게 회전시킨다. 인쇄 그레이팅은 앞에서 언급한 것과 동일하게 제작하여 회전하는 디스크위에 설치한다. 이들이 만들어내는 프린지를 CCD 카메라를 이용하여 획득한다. CCD 카메라에 프린지를 확대하여 획득할 수 있도록 접사링을 끼웠다. 그레이팅간의 회전각도가 0도일 때 획득한 프린지가 Fig.9와 같다. 이 그림에는 프린지의 밝기를 픽업할 가상의 센서들의 위치를 같이 보였다.

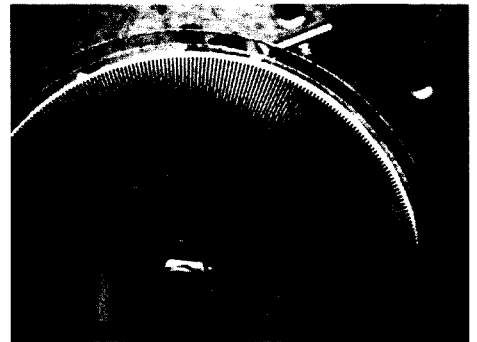


Fig. 7 Fringe from radial grating and pick-up sensors (Radial)

(4.2) 회전각도 측정 실험

그레이팅의 간격이 1도이므로 회전스테이지에 있는 마이크로미터를 1/10도 간격으로 회전시키면서 CCD 카메라를 통하여 프린지를 저장한다. 저장된 영상으로부터 앞의 Fig.7에 보인 5개의 수광소자 위치에서 프린지의 평균밝기를 계산하여 신경회로망의 입력으로 사용하고, 이에 해당하는 회전각도를 목표값으로 하여 신경회로망을 학습시킨다. Fig.7의 수광소자 위치에서 얻은 데이터를 Fig.8에 보였다.

Fig.9에는 회전각도 0.02도 간격으로 0.1도까지 회전시켰을 때 얻은 픽업 데이터이다. 이 그림을 보면 모든 수광소자에서 얻은 데이터가 일관성 있게 변화되는 것을 볼 수 있다. 이로부터 세밀한 회전을 측정할 수 있음을 알 수 있다. 수광소자가 수평방향으로 설치되어 있을 경우를 Fig.10 과 Fig.11에 보였다.

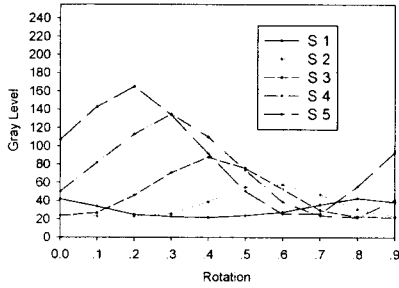


Fig. 8 Pick-up sensor data (Radial)

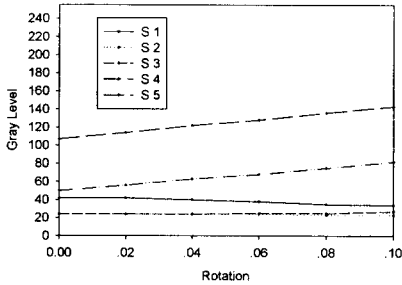


Fig. 9 Pick-up sensor data for precise rotation

(4.3) 실험결과 및 토의

Fig.12는 신경회로망이 앞의 픽업값을 학습하는 과정에서 보인 학습오차의 경향이다. 데이터의 수가 10세트이므로 매우 빨리 수렴하였다. 최종오차가 Fig.13에서 볼 수 있는 것처럼 0.002도 이내의 오차로 학습이 되었으며, 따라서 Fig.14에서 보는 바와 같이 목표값과 출력값이 잘 일치함을 알 수 있다. 이로부터 1도 간격의 그레이팅을 사용하여 0.1도의 분해능을 갖도록 하였으며, Fig.11 과 Fig.13을 고려할 때 1/50도의 분해능도 가능한 것으로 볼 수 있다.

5. 결 론

전량 수입에 의존하고 있는 절대위치 방식 엔코더의 국산화를 위한 기초기술을 개발하였으며, 인공신경 회로망을 이용하여 신호를 처리하는 기법을 개발하고, 이를 구현하여 적용 가능성을 연구하였다. 실험결과 그 타당성이 입증되었으며, 본 논문에서 제안한 방법을 응용하여, 광학

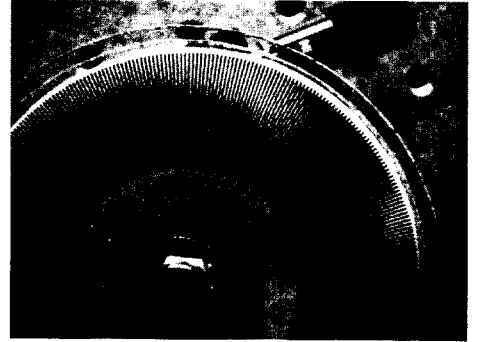


Fig. 10 Fringe from radial grating and pick-up sensors (Horiz.)

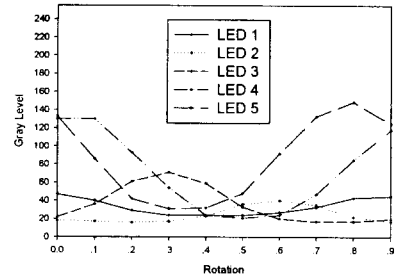


Fig. 11 Pick-up sensor data (Horiz.)

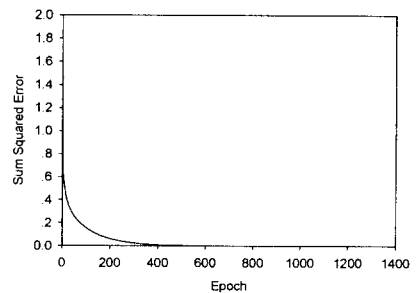


Fig. 12 Error trends with learning

적으로 본 실험에 사용된 것보다 정밀한 그레이팅을 제작하여 사용하면 기존에 사용되는 절대방식의 엔코더보다 더욱 정밀도를 높일 수 있을 것이다.

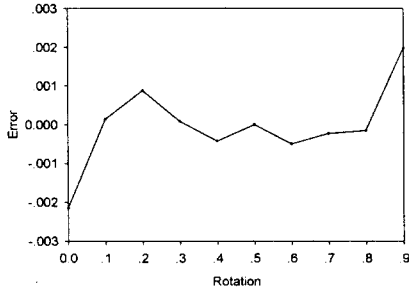


Fig. 13 Error between Target and Output data

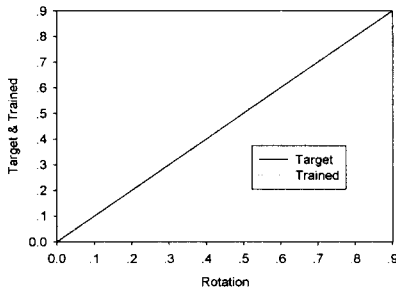


Fig. 14 Target and output data

대학교 정밀기계공학과, 1992.6.

- [6] A. T. Ahepherd, "25 years of moire fringe measurement", Precision Engineering 1, pp.61-69, 1979.
- [7] O. Kafri and I. Glatt, The Physics of Moire Metrology, Wiley, NewYork, 1990.
- [8] J. A. Freeman and D. M. Skapura, Neural Networks Algorithms, Applications, and Programming Techniques, Addison-Wesley Publ. Co., 1992.

6. 참고문헌

- [1] M. C. Hutley, R. F. Stevens and D. E. Putland, "Wavelength encoded optical fiber sensors", Sensor review, Vol.5, no.2, Apr. 1985, pp.64-68.
- [2] T. Ueda, F. Kohnsaka and T. Iino, "Optical absolute encoder using spatial filter", Proce. of the SPIE, Vol.814, Pt.1, Int. Conf. on Photomechanics and Speckle Metrology, Aug. 17-20, 1987, pp.217-221.
- [3] K. Takasu, "Laser rotary encoders offer small size and improved shaft loading", Powerconversion and Intelligent Motion, Vol.14, No.11, Nov., 1988, pp.60-62.
- [4] D. H. Breslow, "Smart absolute shaft encoders", Sensors, Vol.6, No.4, Apr. 1989, pp.42-52, ITEK.
- [5] 전병욱, 4점 모아레법을 이용한 레이저 엔코더의 개발에 관한 연구, 석사학위논문, 한양