

# 자기 콘택트 렌즈 감지 기술 (Magnetic Contact Lens Sensing Technique)에서 인공 신경망을 이용한 안구 위치 추정

이승엽, 김근영, 김희찬  
서울대학교 대학원 협동과정 의용 생체 공학 전공

K. Y. Kim<sup>1</sup>, S. Y. Lee<sup>1</sup>, and H. C. Kim<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Interdisciplinary Program-Biomedical Engineering Major, Graduate School, and  
<sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, and <sup>3</sup>Institute of Medical & Biological  
Engineering, MRC, Seoul National University, Seoul, Korea

## ABSTRACT

In this paper, We propose an artificial neural network based approach for eye movement measurement in magnetic contact lens sensing technique. Sensor array has been implemented by using four magnetoresistive sensors. A two-layer feed-forward neural network was used. An artificial eyeball model was made for the test. The neural network is trained with the sample data which is obtained from nine spots. After training, we compared the position of the eye calculated from the developed system with the real position of the eye. The result shows that there is a good linear relationship between them. This indicates the developed system is capable of recording the position of eyeball highly accurate.

## INTRODUCTION

자기 콘택트 렌즈 감지 기술(Magnetic Contact Lens Sensing Technique, MCLST) 라는 새로운 안구 운동 측정 방법이 제안되었다[1]. 이 방법은 현재까지 안구 운동 측정 시스템의 표준이 되어온 1963 년 Robinson 이 고안한 magnetic field search coil 방법[2]의 측정 개념과 반대 되는 개념을 기본으로 하고 있다. Robinson 의 방법의 경우 외부에서 자기장을 발생시키고 콘택트 렌즈 위의 코일이 발생된 자기장에 크기와 방향에 따른 전류를 발생시킴으로써 자기장을 측정한다. 반면 새롭게 제안된 방법에서는 콘택트 렌즈 위에 자석을 올린 뒤 이 자석에서 나오는 자기장을 외부의 자기 센서가 측정하여 안구의 위치를 추정하게 된다. 하지만 이 방법에서 회전 각도에 따른 자기 센서의 출력이 선형적이라고 가정하고 수학적 모델을 세운 뒤 위치를 계산하려는 시도는 많은 오차를 가져왔다. 따라서 본 연구에서는 센서 배열 (sensor array)로부터의 신호를 가지고, 교사 신호(training input)통해 비선형적인 시스템을 학습할 수 있는 인공 신경회로망을 이용하여 안구의 위치를 추정하였다.

## MATERIALS AND METHODS

### 1. 하드웨어 설계

개발된 시스템은 그림 1 가) 와 같이 크게 영구 자석에 의해 발생하는 자기장의 세기를 측정하기 위한 감지부, 센서의 출력을 차동 증폭시키는 증폭 부분, PC 에서 신호의 후 처리를 위한 AD 변환 부분으로 나뉜다. 상하좌우 1.5 cm 간격으로 자기 저항 효과(magnetoresistive effect)를 이용한 자기 센서 네 개를 (HMC1052, Honeywell, USA) 이용하여 센서 배열(sensor array)를 구성하였다. 또한 자기장을 측정하는 데 있어 자기 센서가 높은 민감도(high sensitivity) 상태를 유지하도록 하기 위해 큰 전류 펄스를 발생시키는 회로를 구성하였다.

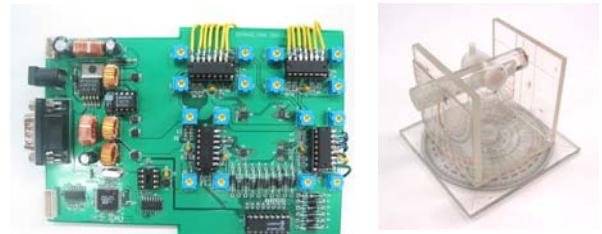


그림 1. 가) 개발된 보드 나) 인공안구모델

### 2. 신경회로망 설계

본 연구에서는 그림 2 와 같은 한 개의 은닉 층을 가지는 feed-forward backpropagation 신경회로망이 사용되었다. 4 개의 센서가 각각 x, y 축 방향으로 두 개의 출력을 가지므로 전체 8 개의 출력이 입력 층으로 들어가게 된다. 따라서 입력층(input layer)은 8 개의 입력 뉴런을 갖게 된다. 출력층(output layer)은 두 개의 뉴런을 갖게 되는 데 각각은 안구의 수평 방향으로의 회전 각도와 수직 방향으로의 회전 각도를 나타낸다.

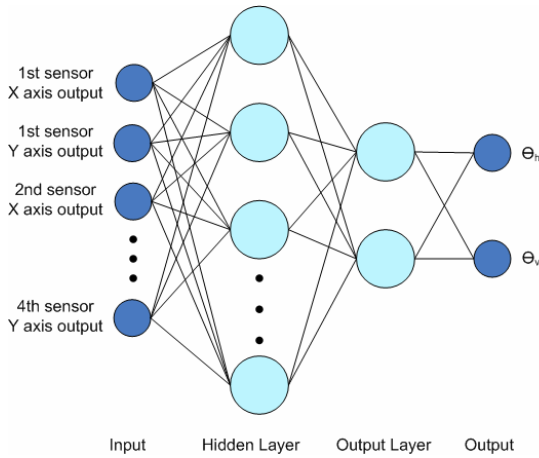


그림 2. 안구 운동 측정을 위한 인공 신경회로망 모델

3. 실험

그림 1 나)와 같이 원하는 각도로 자석을 회전 시킬 수 있도록 제작된 인공 안구 모델 위에서 실험을 수행하였다. 먼저 신경망을 훈련시키기 위하여 수직과 수평 방향으로 15 도 간격으로 인공 안구를 회전 시키면서 전체 9 개의 위치에서 데이터를 수집하였다. 예상되는 결과를 가지고 교사학습 (supervised learning)으로 신경망회로를 훈련시켰다. 훈련이 끝난 신경망이 안구의 회전을 정확하게 측정하는 지 알아보기 위하여 인공 안구를 수평방향으로 -20 도에서 20 도 까지 회전 시키면서, 신경회로망에 의한 결과와 실제 회전 각도를 비교하였다. 식 (1) 과 같이 신경회로망에 의해 계산된 회전 각도를 실제의 회전 각도에 관한 일차 함수로 적합(fitting)을 시켰다.

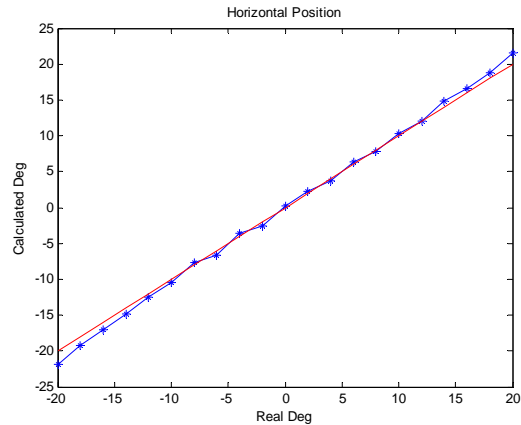
$$P_{\text{Calculated}} = A \times P_{\text{Real}} + B \tag{1}$$

여기서 A 는 적합(fitting) 된 함수의 기울기를 나타내고 B 는 y 절편을 나타낸다. 수직방향으로도 위와 같은 실험을 수행하였다. 또한 수직 방향과 수평 방향으로 동시에 인공 안구를 회전 시키면서 5 도 간격((수직 5 도, 수평 5 도), (수직 5 도, 수평 -5 도), (수직 -5 도, 수평 5 도), (수직 -5 도, 수평 5 도))으로 네 군데와 10 도 간격으로 네 군데의 위치에서 인공 안구의 위치를 측정하여 실제 위치와 비교하였다.

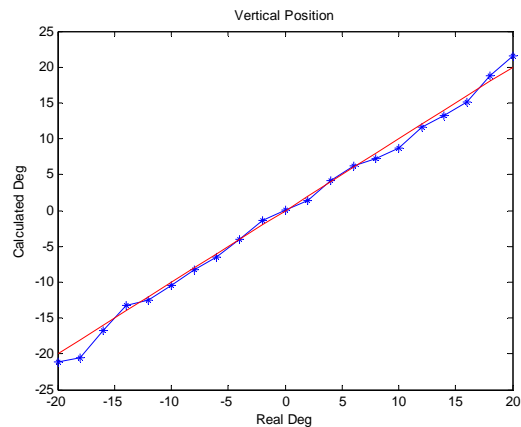
RESULT

그림 3 은 측정 시스템에 의한 회전 각도와 실제 회전 각도 사이에 선형성을 가지는 것을 보여준다. 수평 회전의 경우 적합(fitting) 한 함수의 A 는 1.046 과 B 는 -0.1341 가 나왔고, 수직 회전의 경우 A 는 1.034, B 는 -0.2042 가 나왔다. 수평과 수직을 동시에 회전

시킨 여덟 군데의 위치에서 안구 운동을 측정한 실험에서는 계산된 회전 각도와 실제 회전 각도의 평균 오차 자승(mean square error)를 계산하였는데, 0.0054 의 값을 가졌다.



가) 실제 회전각도의 함수로 나타난 수평 회전각도



나) 실제 회전각도의 함수로 나타난 수직 회전각도

그림 3. 시스템에 의해 구해진 안구 위치와 실제 안구 위치의 비교

DISCUSSION

1 차 선형 함수로 적합(fitting) 했을 때, 기울기가 1 (수평 : 1.046 ,수직 : 1.034)에 가까운 것은 신경회로망을 이용한 안구 운동 측정 시스템이 실제 안구의 회전 반경인 수직 40 도, 수평 40 도 범위 내에서 높은 정확도를 가지면서 실제 안구의 위치를 측정해 낼 수 있다는 것은 보여준다. 양 극단과 가까운 위치에서는 오차가 약간 증가했는데 이에 대한 보정이 필요하다. 또한 임상에 적용하기 위하여 콘택트 렌즈 위에 자성을 띄는 물질을 올리는 기술에 대한 연구가 필요하다.

## CONCLUSION

본 논문에서는 자기 콘택트 렌즈 감지 기술 (MCLST)에서 인공 신경회로망을 이용하여 안구의 위치를 측정하는 방법을 제안하였다. 실제 안구의 위치와의 비교에서 높은 수준의 선형성을 보였으며, 이는 새롭게 제안된 방법이 높은 정확성을 가지고 실제 안구의 회전 범위 안에서 안구의 운동을 기록할 수 있다는 것을 나타낸다.

## REFERENCES

- [1] K. K. Kim, S. Y. Lee, H. C. Kim, "A Wireless Measurement System for Three-dimensional Ocular Movement Using the Magnetic Contact Lens Sensing Technique" , *Proc. 24<sup>th</sup> Annu. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 2287–2289, Sept. 2004.
- [2] D. A. Robinson, "A method of measuring eye movement monitor using a scleral search coil in a magnetic field," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 10, pp. 137–145, 1963.