

논문 2001-10-1-07

Saliency map 모델을 갖는 도약 안구 시각 시스템의 구현

조준기*, 이민호**, 신장규**, 고광식**

Implementation of saccadic eye movement system
with saliency map model

Jun-ki Cho*, Minho Lee**, Jang-Kyoo Shin**, Kwang-Sik Koh**

요 약

이 논문에서는 선택적 주의 집중 기능을 갖는 도약 안구 시각 시스템을 제안한다. Saliency map 모델은 주어진 자연 영상에 대하여 선택위치를 순차적으로 출력하여 시선 이동 경로를 발생시킨다. 발생한 선택위치로의 신속한 움직임을 위하여 도약 안구 운동 모델을 개발하였다. 도약 안구 운동 모델은 시각 자극에 의한 반사적 도약 안구 운동 발생 시각 경로를 세 부분으로 구분하고, 시각 경로에 포함되는 뇌 조직들의 기능 및 역할이 반영되도록 각각의 세부 경로를 서로 다른 신경회로망을 이용하여 모델 하였다. 구현한 Saliency map 모델과 도약 안구 운동 모델을 기반으로 한 능동 시각 시스템을 CCD 카메라와 BLDC 모터를 이용하여 실제 구성하고, 제안한 능동 시각 시스템이 실제 도약 안구의 움직임을 잘 추종하는지를 실험을 통하여 검증하였다.

Abstract

We propose a new saccadic eye movement system with visual selective attention. Saliency map models generate the scan pathways in a natural scene, of which the output makes an attended location. Saccadic eye movement model is used for producing the target trajectories to move the attended locations very rapidly. To categorize human saccadic eye movement, saccadic eye movement model was divided into three parts, each of which was then individually modeled using different neural networks to reflect a principal functionality of brain structures related with the saccadic eye movement in our brain. Based on the proposed saliency map models and the saccadic eye movement model, an active vision system using a CCD type camera and BLDC motor was developed and demonstrated with experimental results.

1. 서 론

인간의 생리학적 신호 전달 체계는 그 속도 면에서 다소 느린 한계를 가지고 있음에도 불구하고, 시각 정보 처리 과정에 있어서 주어진 자연영상을 실시간으로 빠르게 처리하는 탁월한 능력을 가지고 있다^[1]. 인간의

시각 시스템은 선택적 주의 집중에 의해서 시각 수용체로 도달되는 많은 물체들 중에서 어느 특정한 부분에 집중할 수 있다. 선택적 주의 집중은 시각계에 자극으로 수용되는 수많은 정보들 중에서 뇌가 어떤 정보를 처리해야 하는지를 선택함에 있어서 가장 중요한 역할을 한다. 인간의 시각 시스템은 한정된 뇌의 자원으로도 효율적으로 시각 정보들을 빠르게 처리할 수 있는 것이다. 시각 정보를 받아들이는 데 있어서 선택적 주의 집중과 도약 안구 운동은 매우 밀접한 관계를 가지고 있다^[1]. 즉, 선택 위치(attended location)의 이동

* 경북대학교 센서공학과 (Dept. of Sensor Engineering, Kyungpook National University)

** 경북대학교 전자전기공학부 (School of Electronic and Electrical Eng., Kyungpook National University)

<접수일자 : 2000년 12월 14일>

이나 또 다른 선택 위치로의 이동에 의하여 도약 안구 운동이 발생하게 된다. 인간의 시각 시스템은 선택적 주의 집중을 수행하는 과정에 있어서, top-down 방식 뿐만 아니라, bottom-up 방식이 동시에 작용한다^[2]. 고도의 인지 정보 처리 과정에 의존하는 top-down 방식은 인간의 뇌의 기능에서 가장 복잡한 활동 중의 하나이다. 따라서, 이러한 기능을 자세히 세부적으로 모델링 하는 것은 매우 어렵다. bottom-up 방식은 다양한 자극을 포함하는 입력 영상에 대하여, 다른 자극들 보다 두드러진 특정 부분에 대해서 집중하는 저 차원적인 선택 주의 집중 기능이다, 따라서, 제안하는 모델에서는 bottom-up 방식이 채택되었다.

한편, 이러한 선택적 주의집중 기능을 갖는 능동 시각 시스템에 관한 연구를 살펴보면, 1995년 Yagi는 입력되는 흑백 영상에 대해서 특정한 영역에 대해 먼저 정보를 처리하는 선택적 주의 집중 기능을 갖는 능동 시각 시스템에 대한 연구를 수행하였다^[3]. Yagi의 능동 시각 시스템은 인간의 시각 수용체의 비 균일한 분포를 고려하여 설계하였으며, 평균과 같은 간단한 연산에 의하여 선택위치를 결정지어 비교적 빠른 시각 정보 처리 기능을 가진다. 하지만, 임의의 자연 영상에 대해서는 고려하지 않았으며 그 선택 목표의 발생 과정이 비교적 단순하고 경험적이다. Itti 와 Koch는 입력 영상에 대하여 밝기, 방향, 색 정보의 3가지 기본요소(basis)를 사용하여 시선 이동 경로를 순차적으로 발생시키는 보다 인간의 기능에 가까운 모델을 제안하였다^[2]. 그러나, 시선 이동 경로를 발생시키는데 필요한 가중치의 학습 방법에 있어서 실제 인간의 시선 이동 경로에 대한 고려가 없었다.

이 논문에서는, 인간의 실제 시선 이동 경로의 계층 정보를 바탕으로 한 임의의 자연 흑백 영상에 대해 시선 이동 경로를 순차적으로 발생시키는 선택적 주의 집중 기능을 갖는 새로운 모델을 제안한다. Eye-Track 장비를 통하여 계층된 실제 인간의 시선 이동 경로 정보는 제안하는 모델의 가중치의 학습에 필요한 목표값으로 사용하였다. Saliency map 모델^[2]에서 얻어진 시선 이동 경로는 도약 안구운동 모델의 이동 목표로 사용된다. 도약 안구 운동 모델은 인간의 시각 경로를 모방한 것으로, 시각 수용기로부터 안구 운동 계획까지의 시각 경로를 세 부분으로 나누어 모델링 한다. 구현한 Saliency map 모델과 도약 안구 운동 모델의 성능을 검증하기 위하여, 제안한 두 모델을 기반으로 능동

시각 시스템을 실제 구성하고, 실험을 통하여 그 성능을 검증하였다.

II . Saliency map 모델

1. Saliency map 모델의 구조

그림 1은 제안한 Saliency map 모델의 구조이다. CCD카메라를 통하여 입력되는 영상에 대하여 선택위치를 순차적으로 발생시켜 시선 이동 경로를 생성한다. 여기서는 흑백 정지 영상에 대하여서만 고려한다. 선택 위치는 밝기, 색, 광학적 흐름, 회전 정보 등의 기본요소의 선형적 대수합으로 나타내어진다고 가정한다^[2].

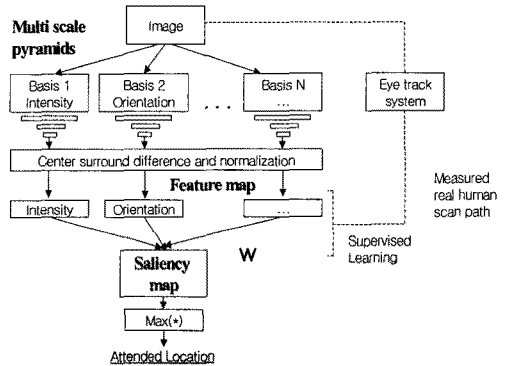


그림 1. 제안한 Saliency map 모델의 구조
Fig. 1. Architecture of the proposed saliency map model.

입력 영상에 대한 saliency map은 각 특징 지도(feature map)의 출력의 가중치 합에 의해 얻어진다. 그리고, 선택 위치는 Saliency map의 최고치 연산에 의해서 결정된다. 임의의 입력 영상에 대하여 선택 위치를 결정하는 데 가장 중요한 것은 적절한 기본요소들의 선택과 학습을 통한 가중치의 최적화에 있다. 이 논문에서는 입력 영상인 흑백 정지 영상에 대하여, 밝기와 회전 정보의 두 가지 기본요소를 사용한다. 이 두 기본요소에 대한 특징을 추출하여 다중 피라미드 영상(multi scale pyramids)을 생성한다^[7]. 생성된 다중 피라미드 영상의 상호간의 차이(center surround difference)를 구한다. 얻어진 차이 정보는 각 기본 요소가 주변으로부터 얼마나 두드러졌는지를 나타내게 된다. 실제 연산에서는 차이정보를 구한 후, 정규화 연산을 수행한다. 그리고, 연결된 가중치(W)를 학습시키기 위하여,

실제 계측을 통하여 얻어진 인간의 시선 이동 경로 정보와 Saliency map 모델의 출력과의 오차를 줄여나가는 오류 역전파 학습 알고리즘(error back propagation learning algorithm)을 사용하였다^[5].

2. Saliency map 모델의 학습 방법

제안한 Saliency map 모델의 연결 가중치 W 의 학습 방법은 다음과 같다.

1. 각 기본요소의 값들 중 최고값 M 과 최저값 m 을 구한다.
2. Eye-Track 장비를 사용하여 얻은 인간의 실제 시선 이동 경로 중 첫 번째로 응시한 선택 목표를 중심으로 한 영역 내에서의 최고값 M_{in} 과 그 외의 영역에서의 최고 값 M_{out} 을 구한다.
3. 다음 식 (1)에 나타난 학습규칙에 따라 각 기본요소에 연결된 가중치를 갱신한다.

$$W(n+1) = W(n) + \eta (M_{in} - M_{out}) / (M - m) \quad (1)$$

여기서 η 는 학습률을 의미한다.

4. 변경된 가중치는 그 값이 일정한 값에 유지되도록 정규화 한다.
5. 다른 입력 영상들에 대해서도 위의 1에서 4까지의 과정을 가중치의 변화가 작아질 때까지 계속 반복한다.

3. 실험 및 결과

그림 2는 인간의 시선 이동경로 측정 실험 환경을 나타낸 것이다. 그림 3은 시선 이동경로 측정 실험에 사용된 Eye-Track 장비(Model 210 , Applied Science Laboratories, USA) 의 사진이다. 계측된 인간의 시선 이동경로 정보는 제안한 Saliency map 모델의 가중치의 학습에 필요한 목표 값으로 사용되었다. 그림 4는 Eye-Track 장비를 이용하여 실제로 측정된 인간의 시선 이동 경로들을 나타낸 것이다. 그림에서 흰색 원은 시선을 고정시킨 점들을 나타낸 것이다. 그림 5는 실험에 사용된 입력 영상 중 하나의 영상에 대한 결과를 나타낸 것이다. 맨 위는 사용된 입력영상이며, 가운데 2개의 그림은 입력된 영상에 대한 두 가지 기본요소의 특징 지도를 각각 나타내었으며 마지막으로 맨 아래에

각 특징 지도의 가중치 합에 의해 생성된 시선 이동경로 정보를 가진 Saliency map을 나타내었다. 그림 6은 제안한 Saliency map 모델의 시선 이동 경로 생성 결과의 한 예이다. 그림 6의 (a), (b), (c) 그리고 (d)는 각각 제안한 시선 이동경로 발생 모델에 의하여 생성된 첫 번째, 두 번째, 세 번째, 그리고, 네 번째 선택영역을 나타낸 것이다. 그림에서 흰 네모상자는 선택영역을 나타낸다. 그림 6과 실제 인간의 시선 이동경로를 나타낸 그림 4를 비교해보면, 제안한 모델에서 생성한 선택 영역과 실제 인간의 시선 이동경로와 거의 유사함을 알 수 있으며, 약간의 차이는 제안한 모델에서는 bottom-up 방식만을 고려하였지만, 실제 인간은 top-down 방식과 bottom-up 방식에 모두 의존함에서 오는 차이로 고려된다.

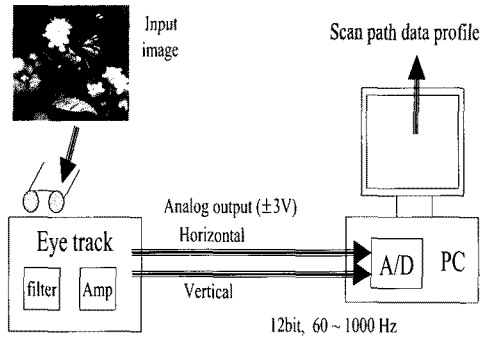


그림 2. 인간의 시선 이동경로 측정 실험 환경
Fig. 2. Experimental settings to measure human eye scan path.

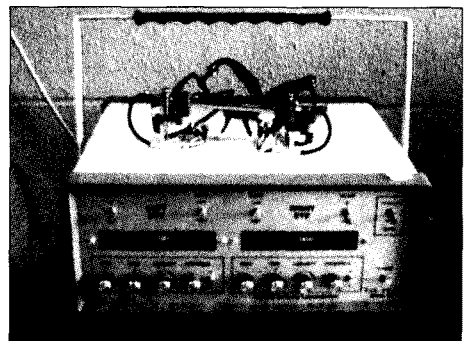


그림 3. Eye-Track 장비 (Model 210 , Applied Science Laboratories, USA)
Fig. 3. Eye-Track system (Model 210 , Applied Science Laboratories, USA).

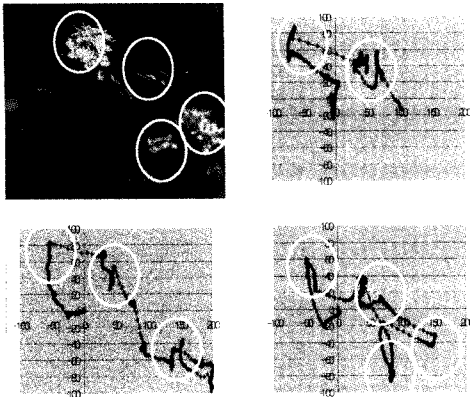


그림 4. 반복 측정된 실제 인간의 시선 이동 경로
Fig. 4. The measured trajectories of real human eye scan path.

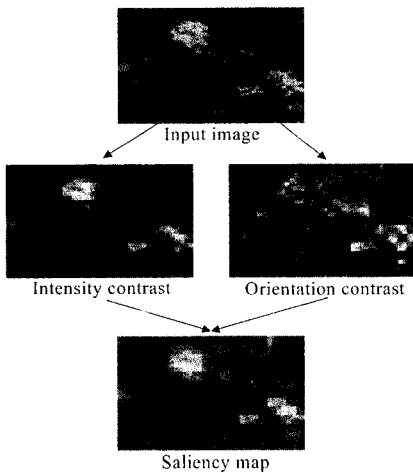


그림 5. 실험 결과
Fig. 5. Experimental results.

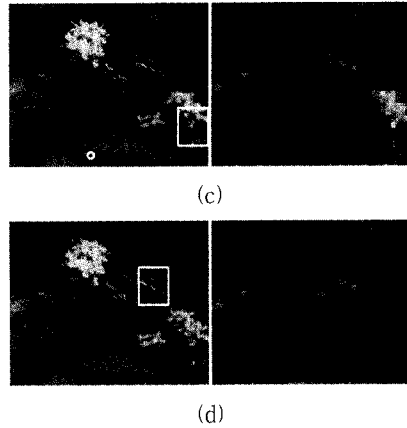
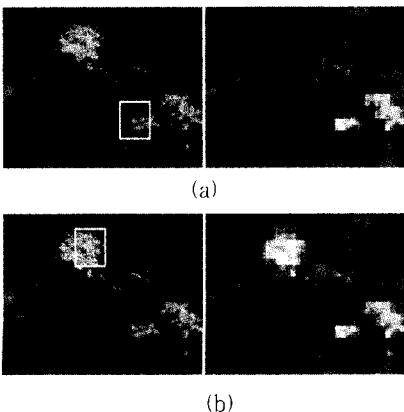


그림 6. 제안한 시선 이동경로 발생 모델의 실험 결과의 한 예 (a) (b) (c), 그리고(d)는 각각 제안한 시선 이동경로 발생 모델에 의하여 생성된 첫 번째, 두 번째, 세 번째, 그리고, 네 번째 선택영역

Fig. 6. An example of the experimental results of proposed saliency map model. (a), (b), (c) and (d) illustrate the 1st, 2nd, 3rd, and 4th attended locations generated by proposed saliency map model, respectively.

III. 도약 안구 운동 모델

1. 도약 안구 운동 모델

Saliency map 모델이 능동 시각센서 시스템의 '어디를 볼 것인가'의 구현에 있다면, 제안한 도약 안구 운동 모델은 Saliency map 모델에 의해서 생성된 시선 이동경로에 대하여 '어떻게 볼 것인가'를 수행하는 모델이다. 이 논문에서는 인간에게 도약 안구 운동이 발생할 때, 실제 인간의 뇌의 시각경로에서 일어나는 메커니즘과 도약 안구 운동의 동특성을 모델링 하였다. 그림 7은 제안한 도약 안구운동 모델을 나타낸 것이다. 제안하는 도약 안구운동 모델은 인간의 시각경로를 모방하는 것으로, 시각 수용기로부터 안구 운동 궤적까지의 시각경로를 세 부분으로 나누어 모델링을 수행하였다. 첫째로, 도약 안구운동 발생과 관련된 시각 수용기로부터 대뇌 시각피질까지의 시각 경로를 모델 하는 것이고, 둘째는 대뇌 시각피질에서 상구체까지의 시각 정보 전달 및 처리 메커니즘을 모델하고, 끝으로 상구체 뉴런 들의 발화에 반응하여 발생하는 안구운동 궤

적까지를 모델 한다. 이와 같이 세 부분으로 나누어진 시각 경로는 각각 서로 다른 신경회로망을 이용하여 구현하였다^[20]. 우선, 도약 안구 운동 발생과 관련한 시각 정보에 대한 시각 수용기의 반응에 대응하는 대뇌 시각피질을 자기 조직화 신경회로망(self-organizing feature map)을 이용하여 모델링 하였다^[4]. 시각 수용기의 반응에 대한 대뇌 시각피질에서 처리된 도약 안구 운동 발생과 관련된 정보의 전달에 따른 상구체의 반응을 모델하기 위해 기존의 학습 벡터 양자화 신경회로망(learning vector quantization neural networks)을 변형시킨 새로운 신경회로망을 이용하여 모델링 하였다^[5]. 특정 시각 자극에 대해 실제로 인간의 반사적 안구 운동에 따라 일어나는 안구 운동의 궤적을 Eye-Track 장비를 이용하여 측정하고, 이 데이터를 상구체 뉴런들의 발화에 따라 발생하는 안구 운동 궤적을 모델하기 위한 진화 연산 알고리즘을 이용한 회귀형 다층 구조 신경회로망(multilayer recurrent neural networks)의 목표 값으로 이용하였다^{[5][6]}.

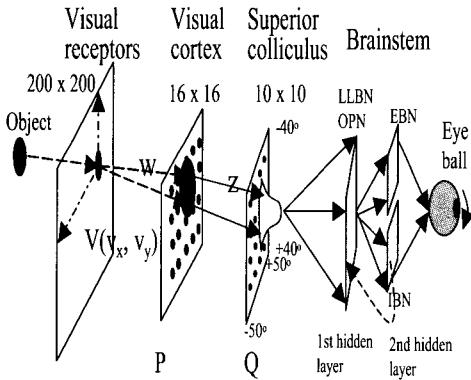


그림 7. 제안한 도약 안구 운동 모델
Fig. 7. Proposed saccadic eye movement model.

2. 컴퓨터 시뮬레이션

시각 자극에 대한 도약 안구 운동을 모델하고, 구현한 모델의 성능을 검증하기 위해 실제 인간의 도약 안구 운동 데이터가 필요하다. 이를 위해, 본 연구에서는 Eye-Track 장비를 이용하고, 컴퓨터 인터페이스를 위한 데이터 획득 시스템을 설계하여 반사적 도약 안구 운동 데이터를 측정 수집하였다. 제안한 시각 자극에 의한 도약 안구 운동 모델의 구현과 성능 검증을 위한 실험 결과는 다음과 같다. 제안한 도약 안구 운동 모델의 구현에서는 시각 계의 시각 자극에 관한 정보를

200×200의 2차원 배열을 이용하여 나타내었다. 보다 큰 배열을 이용하여 시각 자극에 관한 정보를 표현하여야겠지만, 계산상의 효율성과 시각 정보의 해상도 사이의 상관 관계를 고려하여 배열의 크기를 설정하였다. 2차원 시각 계 공간에서 임의의 다른 시각 자극을 묘사하는 1,000개의 인공 데이터를 생성하였다. 인공 데이터로는 +40°에서 -40°까지의 임의 발생 데이터를 이용하였으며, 이는 시각 수용기에 입력되는 영상의 중심값에 해당하는 것으로 간주할 수 있다. 입력 영상의 중심값은 적절한 영상 정보 처리 알고리즘에 의해 구해질 수 있을 것이다.

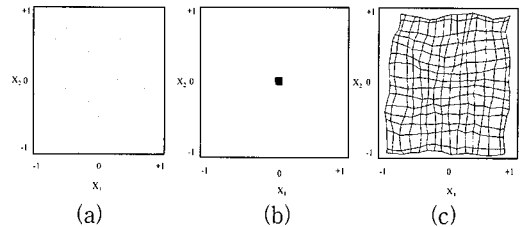


그림 8. 자기조직화 신경회로망을 이용한 시각피질 모델링:

- (a) 시각자극을 모방한 2차원 공간상의 임의의 생성 데이터
- (b) 학습 전의 자기조직화 신경회로망 가중치
- (c) 학습 후의 자기조직화 신경회로망 가중치

Fig. 8. Modeling of visual cortex using self-organization feature map:
(a) 2 dimensional random data mimicking visual stimuli
(b) weights of self-organization feature map before learning
(c) weights of self-organization feature map after learning.

그림 8의 (a)와 (b),(c)는 각각 시각 수용기의 1,000개의 임의의 시각 자극을 묘사하는 인공 데이터와 학습전과 학습이 끝난 후 16x16의 크기를 갖는 자기조직화 신경회로망의 가중치들에 의해 표현되는 지도(map)를 나타낸다. 초기에 작은 임의 발생값에 의해 결정된 자기조직화 신경회로망의 연결 강도(interconnection weight) 값들이 무 교사 학습방법에 의해 임의 발생 입력 데이터의 특성을 잘 반영하여 일정하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 그림 8의 (b)에서 x_1 과 x_2 는 2차원 입력 벡터의 각 차원을 나타내고, 연결선들의 좌표는 각

각의 입력에서 16 × 16 출력 뉴런과 연결된 자기조직화 신경회로망의 연결 강도를 나타낸다. 학습된 자기조직화 신경회로망은 시각경로에서 시각 자극에 대한 대뇌 시각피질의 반응을 모델 한다. 시각 자극에 따른 자기조직화 신경회로망의 출력은 상구체의 발화를 모델하는 10 × 10 출력 뉴런을 갖는 변형 학습 벡터 양자화 신경회로망의 입력으로 이용되어 도약 안구 운동과 관련된 대뇌 시각 피질의 기능과 상구체 뉴런들의 발화 사이의 신경생리학적 관계를 모델 한다.

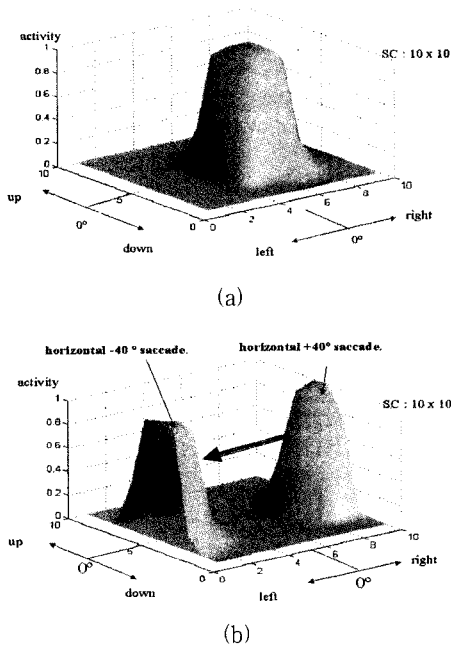


그림 9. 변형 LVQ 신경회로망을 이용한 상구체 발화 모델링 :

- (a) 수평 8° 의 도약 안구운동에 대한 상구체의 발화 형태
- ;(b) 수평 +40° 에서 -40° 로 움직일 때 상구체의 발화 형태

Fig. 9. modeling of superior colliculus firing using modified LVQ neural networks:

- (a) activity profile of output neurons in the modified LVQ network when an object occurs at +8° horizontally
- ;(b) Variation of activity profile of output neurons in the modified LVQ network when an object moves from +40° to -40° horizontally.

그림 9의 (a)는 수평 방향의 8° 도약 안구 운동에 대한 상구체 뉴런들의 발화를 모방하는 변형 학습 벡터 양자화 신경회로망 모델의 출력을 나타내고, 그림 9의 (b)는 시각 계에서 물체가 수평방향으로 +40°에서 -40°로 움직일 때 상구체 뉴런들의 발화 변화를 모방하는 변형 학습 벡터 양자화 신경회로망 모델의 출력을 나타낸 것이다. 그림 9의 변형 학습 벡터 양자화 신경회로망 모델의 출력 결과는 제안하는 도약 안구 운동 모델에서 고려한 상구체의 발화 형태가 잘 반영되어 나타남을 알 수 있다.

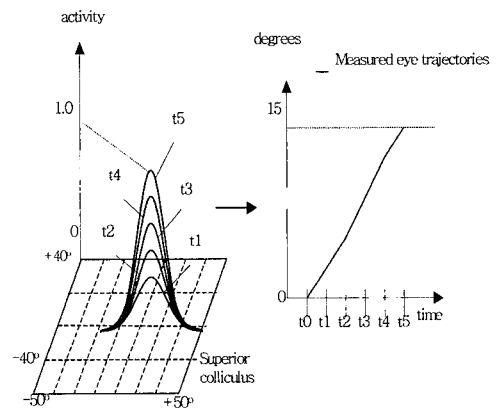
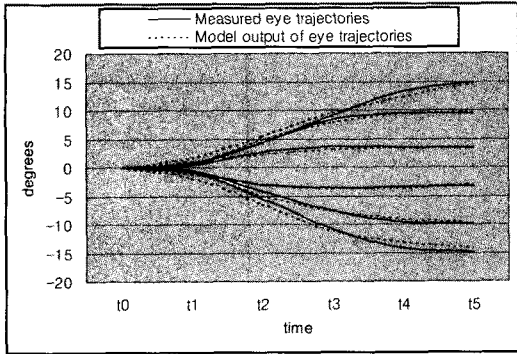


그림 10. 상구체에서의 뉴런의 발화형태와 그에 시간적으로 대응되는 안구운동 궤적

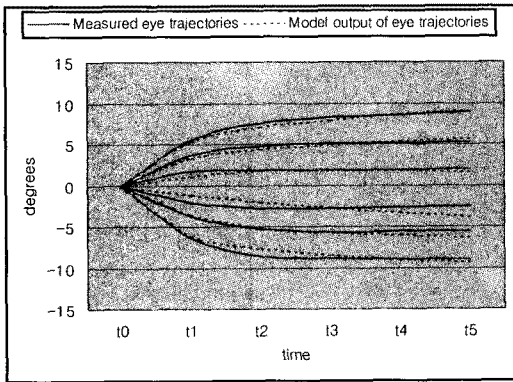
Fig. 10. Spatio-temporal activity profile of the cells in the superior colliculus and corresponding eye trajectories.

그림 10은 도약 안구 운동 발생시 상구체 뉴런들의 발화 형태와 그에 시간적으로 대응되는 계측된 안구운동 궤적을 나타낸 것이다. 연속적인 시간 응답을 갖는 상구체의 발화 형태를 t_1 에 t_5 까지 5단계로 나누고, 각 시점에서 상구체의 발화 형태와 이에 따른 실제 안구 운동 궤적 값을 역시 5 단계로 나눈 값을 회귀형 다층 구조 신경회로망의 입력과 출력 데이터로 각각 사용하였다. 사용한 회귀형 다층 구조 신경회로망은 100개의 입력 뉴런과 1개의 출력 뉴런을 가지며, 10개의 은닉층 뉴런을 갖는 2층 구조이다. 100개의 입력 뉴런은 상구체 출력 뉴런인 10x10의 출력값이 사용되지만, 한번에 25%정도의 뉴런만 발화 값을 가진다. 그림 11에서는 다양한 크기와 방향을 가지는 시각적 자극을 갖는 도약 안구운동에 대한 제안한 도약 안구운동 모

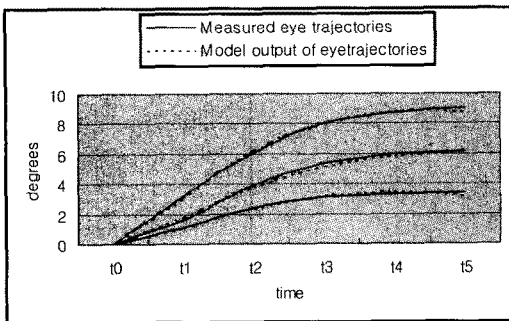
델의 출력을 Eye-Track 장비를 사용하여 측정한 실제 인간의 도약 안구운동 궤적과 비교하여 나타내었다. 그림 11에서 보는 것처럼, 제한한 도약 안구 운동의 모델이 실제 인간의 시각 자극에 의한 반사적 도약 안구 운동과 흡사한 결과를 보이는 것을 알 수 있다.



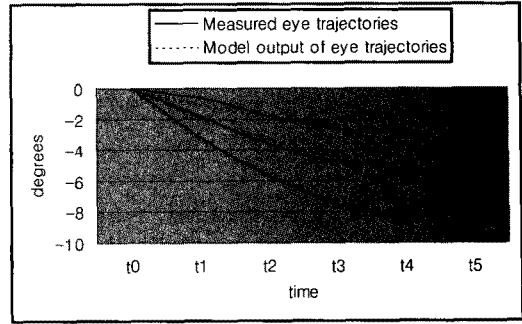
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 11. 다양한 크기와 방향의 도약 안구운동에 대한 제안한 모델의 출력과 실제 측정한 인간의 도약 안구운동의 궤적과의 비교:

- (a) 수평 방향의 도약 안구운동에 대한 안구의 수평 궤적
(수평 15°, 9°, 3°, -3°, -9°, -15° 의 경우)
- ; (b) 수직 방향의 도약 안구운동에 대한 안구의 수직 궤적
(수직 9°, 6°, 3°, -3°, -6°, -9° 의 경우)
- ; (c) 대각선 방향의 도약 안구운동에 대한 안구의 수평 궤적
([수평 3°, 수직 -3°], [수평 6°, 수직 -6°], [수평 9°, 수직 -9°])
- ; (d) 대각선 방향의 도약 안구운동에 대한 안구의 수직 궤적
([수평 3°, 수직 -3°], [수평 6°, 수직 -6°], [수평 9°, 수직 -9°])

Fig. 11. Comparison of the real eye trajectories with the model output for various magnitudes of saccade:

- (a) Horizontal eye trajectories during horizontal direction of saccades (for 15°, 9°, 3°, -3°, -9°, -15°)
- ; (b) Vertical eye trajectories during vertical direction of saccades (for 9°, 6°, 3°, -3°, -6°, -9°)
- ; (c) Horizontal eye trajectories during slanting direction of saccades (for [right 3°, down 3°], [right 6°, down 6°], [right 9°, down 9°])
- ; (d) Vertical eye trajectories during slanting direction of saccades (for [right 3°, down 3°], [right 6°, down 6°], [right 9°, down 9°]).

IV. 능동 시각 시스템의 구현

1. 능동 시각 시스템의 구성

그림 12는 제안한 인간의 도약 안구 운동에 기반한 능동 시각 시스템의 구조를 나타내었다. 구현한 도약 안구 운동 모델은 피드백 제어가 추종할 목표 경로를 발생시킨다. 시선 이동경로 발생 모델에서 얻은 시선 이동경로는 도약 안구 운동 모델의 입력으로 사용되고, 도약 안구 운동 모델의 출력과 현재 카메라 위치의 오차가 PID제어의 입력으로 사용되었다. CCD 카메라로 입력된 이미지 데이터는 영상처리보드를 통하여 초당 30프레임의 속도로 IBM PC로 전송된다. IBM PC 상에서 구현된 도약 안구 운동 모델은 추종 목표 경로를 발생시키고 시리얼 통신(RS232C)으로 DSP 보드에 전송한다. PID제어기는 TMS320C31에 기반한 DSP 보드가 사용되었고 BLDC 모터의 드라이버 회로를 구동한다.

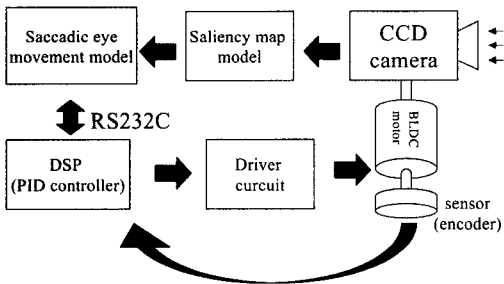
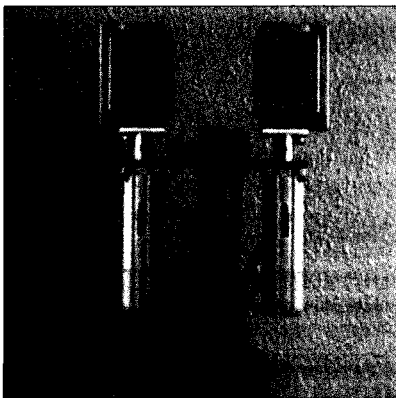
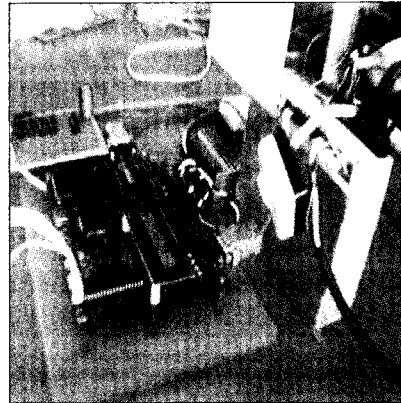


그림 12. 제안한 능동 시각 시스템의 구조
Fig. 12. Architecture of the proposed active vision system.



(a)



(b)

그림 13. 구현된 능동 시각 시스템:

- (a) 구현된 능동 시각 시스템의 실제 사진
- ; (b) DSP 보드의 사진

Fig. 13. The implemented active vision system:
(a) A photograph of the implemented system.
; (b) A photograph of DSP board.

그림 13의 (a)는 실제 제작된 능동 시각 시스템의 사진이다. 그림 13의 (b)는 사용된 DSP 보드의 사진이다. BLDC 모터에 연결된 로터리 엔코더는 CCD카메라의 위치센서로 사용되었다.

2. 실험 및 결과

구현한 도약 안구 운동 모델은 피드백 제어가 추종할 목표 경로를 발생시킨다. 도약 안구 운동 모델의 출력과 현재 카메라 위치의 오차가 PID제어의 입력으로 사용되었다.

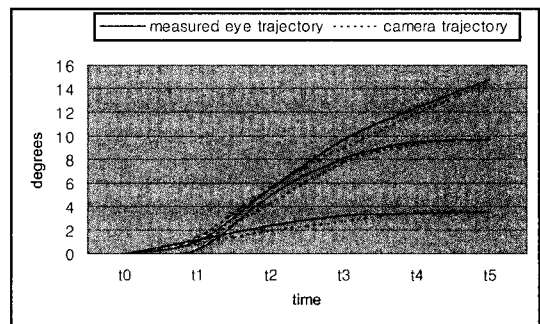


그림 14. 제안한 능동 시각 시스템의 실험 결과
Fig. 14. Experimental results of the proposed active vision system.

그림 14는 제안한 능동 시각 시스템의 실험 결과이다. 실선은 Eye Track 시스템으로 측정된 인간의 도약 안구 운동의 궤적이고, 점선은 능동 시각 시스템의 BLDC 모터에 연결된 로터리 엔코더를 통하여 얻은 CCD 카메라 위치의 제어 결과이다. 그림 14에 나타난 바와 같이 제안한 능동 시각시스템이 실제 도약 안구 움직임을 잘 추종하고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

이 논문에서는 인간의 뇌에서 일어나는 안구 운동 메카니즘에 기반한 선택적 주의 집중 기능을 갖는 도약 안구 시각 시스템을 개발하였다. CCD 카메라를 통해 입력된 흑백 정지 영상에 대하여 제안한 saliency map 모델은 선택 위치를 순차적으로 생성한다. 이러한 선택위치의 발생은 실제 계측된 인간의 시선 이동 경로를 바탕으로 학습하여 얻어진 결과로서 제안한 모델에서 생성한 선택 위치와 실제 인간의 시선 이동 경로가 거의 유사함을 알 수 있다. 구현된 도약 안구 운동 모델은 복잡한 도약 안구 운동 발생 경로를 단순화시켜 모델 하였으나, 시각 수용기로부터 안구의 운동에 의해 일어나는 안구 운동의 궤적까지의 안구 운동 발생과 관련한 시각 경로 전체를 모델 하였다. 제안한 도약 안구 운동 모델이 실제 인간의 시각 자극에 의한 도약 안구 운동과 흡사한 결과를 보이는 것을 컴퓨터 모의 실험을 통하여 보였다. 또한, 구현한 saliency map 모델과 도약 안구 운동 모델을 기반으로 하여, 능동 시각 시스템을 CCD 카메라와 영상 처리 보드, PID 제어기를 내장시킨 DSP 보드, BLDC 모터를 사용하여 실제 제작하였다. 보다 깊은 뇌 과학 연구를 통한 인간의 다양한 안구 운동을 모방하는 모델 구현과 이 모델에 의해 구동되는 망막집 및 AC 모터 제어 시스템을 갖춘 보다 지능화 된 능동 시각 시스템의 구현이 향후 연구 목표라 하겠다.

본 연구는 한·일 국제공동연구사업(KISTEP)과 뇌 과학연구개발사업(과학기술부)의 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. M. E. Bear, B. W. Connors and M. A. Paradiso, Neuroscience exploring the brain, Williams & Wilkins, USA, 1996.
2. L. Itti, C. Koch & E. Niebur. "A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), pp. 1254-1259, 1998.
3. T. Yagi, N. Asano, S. Makita & Y. Uchikawa, "Active vision inspired by mammalian fixation mechanism". Intelligent Robots and Systems, pp. 39-47, 1995.
4. Helge Ritter, Thomas Martinetz, Klaus Schulten, Neural computation and self-organizing maps, Addison wesley publishing company, USA, 1992.
5. S. Haykin, Neural Networks, Macmillan college publishing company, USA, 1994.
6. T. Back and H.P. Schwefel, "Evolutionary computation : An overview", ICEC 96, pp. 20-29, 1996.
7. William T. Freeman and Edward H. Adelson, "The design and use of steerable filters", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 13, No. 9, pp. 986-906, 1991.
8. A.C. Guyton, Textbook of medical physiology, W.B. Saunders Company, 1991.
9. T. Kohonen, "Self-organized formation of topologically correct feature maps," Bio. Cybern., Vol. 43, pp. 59-69, 1982.
10. D.A. Robinson, "Eye movements evoked by collicular simulation in the alert monkey", Vision Research Vol. 12, pp. 1795-1808, 1972.
11. R.H. Wurtz, "Vision for the control of movement", Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol. 37, No. 11, pp. 2131-2145, 1996.
12. N. Srinivasa and R. Sharma, "Execution of saccades for active vision using a neurocontroller", IEEE Control Systems, pp. 18-29, 1997.
13. S. A. Talbot and U. Gessner, Systems

- Physiology, John Wiley & Sons. Inc., USA, 1973.
14. G. Gancarz and S. Grossberg, "A neural model of the saccade generator in the reticular formation", Neural Networks, Vol. 11, pp. 1159-1174, 1998.
 15. P. Lefevre, C. Quail, L.M. Optican, "Distributed model of control of saccades by superior colliculus and cerebellum", Neural Networks, Vol. 11, pp. 1175-1190, 1998.
 16. A. F. Fuchs, C.R.S. Kaneko, and C.A. Scudder, "Brainstem control of saccadic eye movements", Ann. Rev. Neuroscience Vol. 8, pp. 307-337, 1985.
 17. D. B. Tweed, T.Vilis, "The superior colliculus and spatiotemporal translation in the saccadic system", Neural Networks, Vol. 3, pp. 75-86, 1990.
 18. F.H. Netter, The CIBA collection of medical illustrations Volume 1 Nervous System Part 1 Anatomy and Physiology, CIBA Pharmaceutical Company, 1983.
 19. A.C. Guyton, Textbook of medical physiology, W.B. Saunders Company, USA, 1991.
 20. S.W. Ban, J.K. Cho, S.K. Jung & M. Lee, "Active vision system based on human eye saccadic movement", IEICE Trans. on Fundamentals, pp. 1066-1074, 2000.

著 者 紹 介

조 준 기

센서학회지 제8권 제6호』 논문99-8-6-06 p.468 참조
 현재 경북대학교 대학원 센서공학과 석사과정

이 민 호

센서학회지 제8권 제1호』 논문99-8-1-07 p.52 참조
 현재 경북대학교 전자전기공학부 조교수

신 장 규

센서학회지 제9권 제6호』 논문2000-9-6-04 p.424 참조
 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수



고 광 식

1980 - 경북대학교 (공학사 - 전자공학)

1983 - 한국과학기술원 (공학석사 - 전자공학)

1985 - 경북대학교 전자공학과 전임강사

1988 - 경북대학교 전자공학과 조교수

1993 - 경북대학교 전자공학과 부교수

현재 경북대학교 전자전기공학부 교수

주관심분야: 디지털시스템 설계, Statistical signal processing, Vision system, 병렬처리 컴퓨터