

수용체를 사용한 새로운 잡영 감소 기법

이 호 석
뉴미디어학과 공과대학 호서대학교
hslee@office.hoseo.ac.kr

A New Noise Reduction Technique using Receptive Fields

Ho Suk Lee
New Media Dept. College of Engineering Hoseo University

요약

영상에서 잡영(noise)을 감소시키는 것은 영상의 품질 향상을 위하여 매우 중요한 문제이다. 본 논문은 수용체(receptive field)의 On/Off 공간적-시간적 구조를 영상에 적용하여 영상의 잡영을 감소시키는 새로운 기법에 대하여 논의한다. 또한 구 모양의 망막 구성, 수용체의 개량된 On/Off 공간적-시간적 구조, 반맹증을 실험할 수 있는 신경교차(chiasm) 등을 구성하여 구조적으로 향상된 인공 시각 시스템을 개발할 것을 제안한다.

Abstract

Noise reduction in the image is very important to improve the quality of the image. This paper discusses a new noise reduction technique which uses the On/Off spatio-temporal structure of the receptive fields. Also this paper proposes a structurally improved artificial vision system which incorporates the sphere type retina structure, an improved On/Off spatio-temporal receptive fields structure, and chiasm for hemianopia testing.

1. 서론

영상에서 잡영을 감소시키는 것은 영상의 품질 향상과 영상의 처리를 위하여 매우 중요하다. 영상의 잡영은 영상 획득 장치의 전자적이고 기계적인 특성, 아날로그를 디지털로 변환하는 과정, 그레이스케일을 RGB 칼라로 변환하는 과정, 그리고 입력되는 강한 빛(이것은 획득 장치의 특성과도 관련이 있다)에 의하여 대부분 발생한다. 영상에서 잡영이 제거되거나 또는 현저히 감소되지 않으면 영상을 제대로 사용하기가 어려워 영상 처리의 결과도 좋지 않은 경우가 많다.

영상 처리에는 잡영 감소를 위한 많은 기법이 개발되어 있다. 이러한 기법에는 변환(transformation) 함수 기법, 히스토그램 기법, 산술/논리 연산 기법, 공간 필터링 기법, 주파수 필터링 기법 등이 있다[1][2].

수용체(receptive field)는 망막과 측면무름관절모양세포(LGN, Lateral Geniculate Nucleus)에 존재한다. 그리고 일차 시각 대뇌 피질(V1, primary visual cortex) 세포도 수용체 특성을 나타낸다[3][4]. 망막의 신경 섬유는 측면무름관절모양세포로 전달되며 이곳으로부터 다시 일차 시각 대뇌 피질로 전달된다. 일차 대뇌 피질에 있는 시각 신경 세포들은 그 종류에 따라서 각기 일정한 특징에만 반응한다고 한다. 예를 들어, 수직 성분에만 반응하는 세포 혹은 수평 성분에만 반응하는 세포 등이 있다. 수용체는 일반적

으로 On 과 Off 로 구성된 구조를 가지고 있으며 공간적이고 시간적인 특징을 나타낸다[3]. 인간의 시각 시스템에 있어서 매우 중요한 일차 대뇌 피질 세포는 매우 많은 수의 수용체로 구성되어 있으며, 이들 수용체들은 종류별로 각기 다른 인식 특징을 가지고 있으며, 또한 이들 수용체들은 자동적으로 영상에 대한 지도(map)를 형성하여 객체를 인식한다[3][4][5][6]. 참고문헌 [4]는 망막, 측면무름관절모양세포, 그리고 일차 시각 대뇌 피질을 사용하여 간단한 소프트웨어 시스템으로 구현하여 인간의 시각 시스템을 실험하였다.

참고 문헌 [7]은 Volterra 커널과 Wiener 커널을 사용하여 비선형 방식으로 시각 시스템을 모델링하고 해석하는 방법을 논의하고 있다. 2장은 Wiener 커널을 사용하여 날눈(ommatidium) 시각 시스템을 모델링하고 해석한 결과를 제시하였다. 4장에서는 cross-kernel 방식을 사용하여 물체의 움직임과 속도를 인식하는 방법에 대한 이론을 설명하였다.

본 논문은 우선 On과 Off 로 구성된 수용체의 공간적-시간적 특징들을 살펴보고, 영상에서 잡영을 감소시키는데 활용하는 방안을 제시한다. 또한 참고문헌 [4]에서 제시된 인공 시각 시스템을 구조적으로 향상시킬 수 있는 개선 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 수용체의 공간적-시간적 구조

수용체의 On 과 Off 공간적 구조는 Gabor 함수로 모델링할 수 있다. Gabor 함수는 Gauss 함수에 삼각함수를 곱하여 만든 것으로 수용체의 On 과 Off 구조를 매우 잘 나타낸다. Gauss 함수와 삼각함수의 크기는 조정이 가능하므로 On과 Off 수용체의 크기도 조정이 가능하다. 또한 수용체의 On 과 Off 공간적 구조는 시간적으로 변한다. 즉, 수용체의 On 과 Off 공간적 구조가 고정되어 있는 것이 아니고 시간이 경과함에 따라 On 이 Off 가 되고 Off 가 On 이 된다. 이 때 소요되는 시간은 대략 75ms 정도이며, 이것을 반전 효과(reversal effect) 라고 한다[3]. 이러한 수용체 구조에는 On 과 Off 구조가 분리될 수 있는(separable) 수용체가 있고, On 과 Off 구조가 분리될 수 없는(unseparable) 수용체도 있다.

일차 시각 대뇌 피질에 있는 많은 신경 세포들은 물체가 움직이는 방향에 선택적이다. 이러한 움직임 방향 선택성을 설명하기 위해서는 분리될 수 없는 공간적-시간적 수용체가 필요하다. 이 세포들은 Off/On/Off 구조를 가지고 있다. 이 세포의 Off/On/Off 구조는 시간이 경과함에 따라 왼쪽으로 움직인다.

또한 망막 신경 세포는 중심-주변 구조를 가지고 있다. 즉, 이런 세포들은 원모양의 On-중심과 그 주변을 감싸는 Off-주변 구조 혹은 원모양의 Off-중심과 그 주변을 감싸는 On-주변 구조를 가진다. 이런 세포들은 On-중심 혹은 Off-중심이라고 한다.

그리고 이러한 LGN 수용체의 On 과 Off 출력은 단순 세포(simple cell)로 전달되고, 단순 세포의 출력은 다시 복잡 세포(complex cell)로 전달된다. 복잡 세포는 방향 선택(orientation selectivity) 기능은 단순 세포와 유사하다. 그러나 복잡 세포의 출력은 비선형적이며 위상에 대하여 불변하는(phase invariance) 특징이 있다. 그 이유는 복잡 세포는 서로 유사한 방향 선택 특징을 나타내는 그리고 서로 중첩되는 단순 세포의 집단(pool)으로부터 입력을 전달받아 구동되기 때문인 것으로 보인다[8]. 즉, 복잡 세포는 방향 선택과 주파수 선택은 단순 세포로부터 전달받지만, 여러 중첩된 단순 세포로부터 합해진 신호를 전달받기 때문에 위상 선택 특징은 감소되어 있는 것으로 보인다. 참고문헌 [3]은 복잡 세포를 순환(recurrent) 네트워크로 모델링 한 경우를 설명하고 있다.

$$\tau_r \frac{dv(\phi)}{dt} = -v(\phi) + \left[h(\phi) + \frac{\lambda_1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} d\phi' v(\phi') \right]_+ \quad (1)$$

여기서, $v(\phi)$ 는 네트워크 입력, $h(\phi)$ 는 feedforward 입력,

λ_1 은 순환 연결을 나타내며 $\lambda_1 = 0$ 인 경우는 순환 연결이 없는 경우이다.

2.2 인공 시각 시스템

참고문헌 [4]는 망막, LGN, 그리고 V1으로 구성된 간단한 인공 시각 시스템을 보여주고 있다. LGN 수용체의 구조는 On-중심/Off-주변으로 구성된 On LGN과 Off-중심/On-주변으로 구성된 Off LGN을 사용하였다. 일차 시각 세포 V1도 동일한 구조를 사용하였다. 그러나 이것은 실제 LGN 수용체의 공간적-시간적 특성과는 약간 다른 면이 있다. 망막에 형성된 객체는 LGN을 통과하면서 On 영상과 Off 영상으로 구분되고 이것들이 V1에 전달되어 최종적으로 영상이 인식된다. 이 밖에 망막 손상, 시각 손상, 착시 현상, 얼굴 인식에 관한 실험 결과가 제시되어 있다.

그런데 망막 영상에 대한 On 영상과 Off 영상을 보면, 객체 영상의 에지들이 잘 나타나 있으며, 객체 영상과 배경 영상이 상당히 잘 구분되어 있으며, 또한 망막 영상에 존재하는 잡영들은 상당히 감소되어 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 이 실험에서는 시간적인 특성이 없는 고정적인 On/Off 수용체를 사용하였다는 점을 주의해야 한다. 더욱이 On 수용체와 Off 수용체가 혼합되어 있지 않고 On 수용체만 존재하는 LGN과 Off 수용체만 존재하는 LGN으로 분리하여 구성하였다. 그러나 실제 망막과 LGN 구조에서는 On/Off/On/Off ... 방식으로 On 수용체와 Off 수용체가 혼합되어 구조를 이루고 있다. 다음 그림은 참고문헌 [4]에서 구성한 인공 시각 시스템을 보여준다.

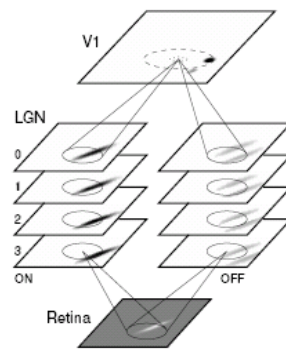


그림 1. 인공 시각 시스템 구조 (참고문헌 [4]의 Fig. 5.20. 인용)

그림에서 망막에서 연결된 On 구조의 LGN과 Off 구조의 LGN을 볼 수 있다. 망막에서 LGN으로의 연결은 신경 연결(excitatory/inhibitory 신경 연결)이고 LGN에서 V1으로의 연결도 동일한 방식의 신경 연결이다. V1의 세포도 On/Off 방식으로 구성되어 있다.

참고문헌 [5]도 시각 시스템에 대하여 비슷한 논의를 하고 있으며 좀 더 구조적인 부분에 초점이 맞추어져 있고 연

상 메모리도 다루고 있다. 참고문헌 [6]은 인간 시각 시스템을 포함하여 시각 과학에 대한 거의 모든 부분을 상세히 다루고 있다.

2.3 잡영 제거 기법

영상의 잡영 모델에는 Gaussian, Rayleigh, Erlang, Exponential, Uniform, Impulse 모델 등이 있다[1]. 영상의 잡영 제거 방법에는 변환 함수, 히스토그램, 산술/논리 연산, 공간 필터링, 주파수 필터링 방법 등이 있다[1]. 특히, 산술 덧셈 연산과 평균을 구하는 방법으로 무작위(랜덤) 잡영을 제거하는 방법은 주목할 만하다.

그런데 수용체의 On과 Off 구조의 공간적-시간적 특성은 영상의 잡영 처리 기법으로 사용할 수 있다고 생각한다. 즉, 수용체의 On과 Off 구조와 같은 공간적-시간적 특성을 나타내는 스크린을 만들고, 잡영을 포함하고 있는 실제 영상(영상의 픽셀 값)을 수용체 스크린의 On/Off 구조를 통하여 통과시키는 방법을 생각할 수 있다. 이러한 구조를 생각한 이유는 인간의 시각 시스템은 잡영에 대하여 매우 강한 특징이 있는데, 아마 수용체의 On과 Off 구조의 공간적-시간적 특성이 인간의 시각 시스템으로 하여금 잡영에 대하여 매우 강한 특징을 만드는데 일차적으로 기여하는 것으로 생각하기 때문이다. 입력 영상의 픽셀 값을 수용체 스크린에 통과시키면 수용체 스크린의 공간적-시간적 On/Off 구조의 특성에 의하여 객체 영상의 픽셀 값은 유지가 되는 반면 대부분의 잡영은 상당히 제거되거나 혹은 감소되는 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 즉, 이렇게 하면 대부분의 무작위 잡영은 스크린의 On/Off 공간적-시간적 구조를 통과하지 못하게 되는 반면, 영상의 픽셀 값은 On/Off 스크린을 통과하게 되어 영상에서 잡영을 감소시키거나 제거할 수 있을 것으로 예상된다. 이 방법은 영상에서 산술 덧셈과 평균을 구하여 무작위 잡영을 제거하는 방법과 비슷한 면이 있다고 할 수 있다. 왜냐하면 영상을 On/Off 스크린에 통과시키면 대부분의 무작위 잡영은 스크린의 On과 Off 구조의 공간적-시간적 특성을 통과하지 못하는 반면, 영상의 픽셀 값은 통과할 것이기 때문이다. 실제 영상 처리에서는 이 이후에 적응적 지역 잡영 감소 필터 방법, 메디안 필터 방법, 혹은 적응적 메디안 필터 방법을 적용하면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각한다. 앞 절에서 설명하였듯이 On/Off 수용체의 폭과 크기가 조정 가능하므로, 폭과 크기가 작을 때에는 HP 필터의 기능을 하고, 폭과 크기가 클 때에는 LP 필터의 기능을 할 것이다.

잡영 제거 이외에도 수용체를 Gabor 함수로 모델링할 수 있으므로 수용체는 일종의 작은 미분기의 역할을 수행할 수 있으므로 영상의 에지 검출의 기능을 할 수 있을 것이다[9].

2.4 잡영 제거 시스템 설계

On/Off 스크린 크기는 영상의 크기와 동일한 것으로 한다. 스크린을 구성하는 On/Off 소자의 크기는 처음에는 영상 픽셀의 1/2 크기로 하고 1/10 ~ 10 배까지 조정할 수 있도록 해본다. 스크린의 On/Off 소자는 수용체의 특성을 반영하여 가로 방향과 세로 방향으로 움직일 수 있도록 한다. 처음에 움직이는 속도는 0.5×10^{-4} m/s(0.004mm/75ms)로 하고 조정할 수 있도록 한다. 여기서 0.004mm는 픽셀의 크기이며 75ms는 반전 효과에 소요되는 시간이다. 만약 On/Off 소자를 움직이지 않는다면 On을 Off로 그리고 Off를 On으로 조절하여 같은 속도로 반전 효과가 나타나도록 하면 될 것이다. 여기서 사용하는 On/Off 소자는 On-중심/Off-주변 방식, Off-중심/On-주변 방식, On/Off 방식, Off/On 방식, On/Off/On 방식, Off/On/Off 방식 모두를 실험하여 결과를 확인하면 좋을 것이다.

다음에, 영상을 스크린에 통과시켜서 새로운 영상을 획득한다. 이 영상은 원래의 영상에 비하여 잡영은 감소하고 객체는 배경과 분리된 영상이 될 것이다.

또한 이 실험은 참고문헌 [4]에서 사용한 고정된 수용체와 원래 인간의 시각 시스템이 사용하는 변화하는 수용체 사이의 차이점을 확인시켜 줄 것이며, 참고문헌 [4]에서 사용한 고정된 LGN 방법을 개량할 수 있도록 해 줄 것이다.

2.5 개선된 인공 시각 시스템 구성

스크린을 둥근 구 모양으로 만들고 앞에 렌즈를 설치하면 인공 눈을 구성할 수 있을 것이다. 이렇게 하면 이 구조는 앞의 “그림 1. 인공 시각 시스템 구조”하고는 다른 구조가 될 것이다. 그림 1의 구조는 평면 모양의 망막을 사용하였으나 새로운 구조는 둥근 구 모양의 망막을 사용하는 것이 되기 때문이다. 그리고 이 구조가 실제 인간의 눈하고 더 유사하기 때문에 더 정밀한 인공 시각 시스템을 구성하여 실험할 수 있을 것이다. 또한 망막에서 LGN으로 신경 섬유가 전달될 때, 좌측 일부의 신경 섬유와 우측 일부의 신경 섬유가 교차하여 LGN으로 연결된다. 이것을 신경 교차(chiasm)라고 하며, 참고문헌 [4]에서는 구현하지 않았다. 신경 교차에 문제가 발생하였을 때에 나타나는 질병으로 반맹증(hemianop(s)ia) 혹은 복시 현상이 있다[8]. 이 질병의 현상은 물체가 공간적-시간적으로 일치하지 않게(incongruous), 불충분하게(incomplete) 두 개로 보이는 것이다. 참고문헌 [4]에서는 상처에 의한 몇 가지 시각 장애 문제를 다루었으나 반맹증 혹은 복시 현상은 신경 교차를 구현하지 않은 관계로 다루지 않았다. 신경 교차를 구현하여 이 문제도 다루는 것이 좋을 것이다.

그리고 인식과 기억에 큰 영향이 있는 신경 집중(attention) 현상을 연구하고 구현하고 실험하는 것도 필요

할 것이다.

2.6 예상 효과

영상의 잡영 감소에 대한 실험은 On/Off 스크린 구조에서 시작하여, Off/On, On/Off/On, Off/On/Off, On-중심/Off-주변, Off-중심/On-주변 구조를 사용하여 진행하여 영상에 따라 가장 효과가 좋은 방식을 파악한다. 수용체를 이용한 영상의 잡영 감소 방식은 종합적으로 영상의 잡영 감소 혹은 제거와 영상의 객체와 배경의 분리와 같은 예상 효과를 나타낼 것으로 보인다.

다음에 둥근 구 모양의 망막을 구성하고, 공간적-시간적으로 변하는 On/Off 수용체를 구성하고, 신경교차까지 구성하여 실험하면 실제 인간의 시각 시스템과 구조적으로 거의 비슷하게 된다. 따라서 이러한 개선된 시각 시스템을 구성하여 실험을 하면 어떻게 인간의 시각 시스템이 잡영을 제거하고 영상 인식할 수 있는지 파악하는데 많은 도움을 줄 것이다. 물론 잡영의 제거에는 수용체의 공간적-시간적 On/Off 구조이외에도 신경 세포 활동 전위 전송의 excitation/inhibition 과 perceptual grouping 등의 기능도 상당히 관여할 것으로 생각되지만, 이와 같은 실험을 수행하면 망막에서는 어떠한 기능이 관여하여 잡영이 제거되는지 실험하여 파악할 수 있을 것이다. 왜냐하면 잡영은 시각 처리 시스템의 앞부분에서 처리되는 것이 뒷부분에서 처리되는 것보다 훨씬 바람직하기 때문에 망막에서부터 잡영 처리가 시작될 것이며, 수용체의 On/Off 공간적-시간적 구조가 아마 그 역할을 할 것으로 예상하기 때문이다. 이러한 생각은 참고 문헌 [9]에서도 확인할 수 있다. 참고문헌 [9]은 “패턴으로부터 정보를 추출하는 것은 망막에서부터 시작되는 현상이며, 시 신경은 이미지를 두뇌로 전송하는 것이 아니라 패턴으로부터 추출된 정보를 두뇌로 전송하는 것이다.”라고 서술하고 있다. 망막, LGN, 그리고 V1의 On/Off 수용체에서 시간이 경과함에 따라 형성되는 영상의 특징을 실험을 통하여 관찰해 보는 것도 좋을 것이다.

참고문헌 [9]에서는 수용체가 영상의 깊이, 물체의 움직임, 그리고 궁극적으로 물체의 시각 인식에도 깊이 관계하고 있다고 설명하고 있다.

3. 결론

본 논문에서는 수용체의 On/Off 특성을 논의하였고, 수용체의 On/Off 특성을 활용한 일반 영상에 대한 새로운 잡영 감소 기법에 대하여 논의하였다. 또한 둥근 구 모양의 망막 구성, 공간적-시간적으로 변화하는 On/Off 수용체의 구성, 신경 교차 등을 구성하여 참고문헌 [4]의 시스템 보다 좀 더 개선된 인공 시각 시스템을 구성할 것을 제안하였다. 또한 개선된 시스템을 실험하면 망막에서의 잡영 제거

효과에 대해서도 밝힐 수 있을 것이다. 앞으로의 연구로는 제안된 아이디어와 시스템에 대한 구현과 실험이 있어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing(2nd ed.), Prentice-Hall, 2002.
- [2] Scott E. Umbaugh, Computer Imaging, A CRC Press Book, 2005.
- [3] Peter Dayan, L. F. Abbott, Theoretical Neuroscience, The MIT Press, 2001.
- [4] Risto Miikkulainen, et al., Computational Maps in the Visual Cortex, Springer Verlag, 2005.
- [5] Edmund T. Rolls, Gustavo Deco, Computational Neuroscience of Vision, Oxford University Press, 2004.
- [6] Stephen E. Palmer, Vision Science : photons to phenomenology, The MIT Press, 1999.
- [7] Robert B. Pinter, Bahram Nabet (editor), Nonlinear Vision: Determination of Neural Receptive Fields, Function, and Networks, CRC Press, 2000.
- [8] James B. Wyngaarden, M.D., Lloyd H. Smith, Jr., M. D., Cecil Textbook of Medicine (16th ed.), W. B. Saunders Company, 1982.
- [9] Vicki Bruce, Patrick R. Green, Mark A. Georgeson, Visual Perception(4th ed.), Psychology Press, 2003.