論文94-31B-11-15

확산신경회로망을 이용한 윤곽선 검출 시스템의 광전자적 구현

(Opto-electronic Implementation of an Edge Detection System Using Diffusion Neural Network)

趙哲秀*, 金在昌*, 尹台焄*, 南基坤*, 朴義烈*

(Cheol Soo Cho, Jae Chang Kim, Tae-Hoon Yoon, Ki Gon Nam and Ui Yul Park)

要約

본 논문에서는 영상에서 윤곽선을 검출하는 시스템을 확산신경회로망을 이용하여 광전자적으로 구현하였다. 확산신경회로망은 확산과정을 통하여 가우스연산과 DOG연산을 효과적으로 수행한다. 또한, 확산신경회로망은 적은 연결과 고정된 연결세기로 인하여 전기적구현이나 광학적구현에 있어서 LOG마스킹방법을 이용하는 것보다 훨씬 효과적이다. 본 논문에서는 확산신경회로망을 빛의 밝기 분포함수가 가우스함수 모양을 갖는 특성을 이용하여 광전자적으로 구현하였다. 실험결과를 통해 본 시스템에서 윤곽선이 정확히 검출되는 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we implemented an opto-electronical signal processing system for the edge detection using the diffusion neural network. The diffusion neural network performs a Gaussian and DOG operation efficiently by the diffusion process. The diffusion neural network is more efficient than the LOG masking method in hardware implementaion because it has a few connections and the connection weights are fixed-valued. We implemented a diffusion neural network using the characteristics of the light intensity distribution function which is similar to the Gaussian function. We have shown that the system can detect the edge of an image exactly through the experimental results.

I. 서 론

영상처리분야에서는 고등동물의 시각작용에 관한 연구결과를 구현하고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있다. 고등동물의 눈의 수용장의 기능은 DOG-(Difference of two Gaussians) 연산자와 같은 기능이 있다.[1-5] 눈에서 시각정보를 처리하는 기능으로 밝혀진 DOG 연산자는 멕시코모자와 같은 모양을 하고 있으며, DOG는 대역통과 특성을 가지므로 입력영상과의 콘볼류션으로 영상의 밝기변화를 검출할 수 있는 연산자이다. 그리고 가우스함수를 2차 미분한 함수인 $\nabla^2 G$(LOG:Laplacian of Gaussian)가 DOG와 유사한 모양을 가지며, LOG함수를 이용하면 영상의 밝기변화를 검출할 수 있다고 하였다.[6] 그

* 正會員, 釜山大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Pusan Nat'l Univ.)
接受日字 : 1994年 5月 20日

러나 LOG를 이용한 영상처리에는 마스크의 크기가 크기 때문에 계산량이 많아 처리시간이 많은 단점이 있다. 또한, 마스크의 크기가 크고 마스크의 각 pixel의 값이 다르기 때문에 하드웨어 구현에 어려움이 많다.

확산신경회로망은 확산과정을 통하여 가우스연산을 효과적으로 할 수 있다. 이 확산신경회로망을 영상에서 공간주파수성분을 검출할 수 있는 DOG 연산자를 구현하는데 이용하면, 확산신경회로망은 영상의 윤곽선을 검출할 수 있는 전처리기로서 이용될 수 있다.

확산신경회로망에서 각 신경세포는 2차원 영상에서 이웃하는 4개의 신경세포와 연결을 하고 있으나, LOG마스킹방법은 각 신경세포는 100개 이상의 연결을 하고 있다. 또한, 확산신경회로망은 연결세기가 고정된 값을 갖고 있으나, LOG마스킹방법은 마스크의 크기에 따라 연결세기의 값이 변한다. 비록 영상에서 윤곽선을 검출할 때, 확산신경회로망은 몇 번의 확산과정을 거치지만 전체 계산량은 LOG마스킹방법보다 적다. 확산신경회로망에서 공간주파수성분이 다른 윤곽선을 확산과정중에서 검출할 수 있으나, LOG마스킹방법은 공간주파수 성분에 따라 마스크의 크기를 달리해야 한다. 그러므로 확산신경회로망모델은 LOG마스킹방법보다 간단하고 하드웨어나 광학적 구현에 있어서 훨씬 효과적이다.

본 논문에서는 빛의 세기분포함수가 가우스함수모양을 하고 있다는 성질을 이용하여 확산신경회로망을 광전자적으로 구현하였다. 전체 시스템은 분배층, 확산층, 그리고 윤곽선 검출층으로 구성하였다. 분배층에서 분산값이 다른 두개의 가우스함수를 미리 중첩시켜 DOG의 초기치를 구하고, 확산층에서 이 DOG의 초기치를 계속 확산하면서 분산값이 다른 DOG연산을 수행하여 공간주파수성분이 다른 윤곽선을 검출할 수 있게 한다. 그리고 윤곽선검출층에서는 확산층의 출력에서 영교차점을 찾아내어 윤곽선을 검출하는 기능을 한다.

실험결과 실험에 이용된 2진 영상에서 윤곽선이 정확히 검출된다는 것을 확인하였다.

Ⅱ. 확산신경회로망모델

본 장에서는 외부자극을 주변으로 확산하며 가우시안 연산을 하는 확산신경회로망모델[7-10]에 대하여 설명하겠다.

먼저 확산이 일어나는 간단한 예는 그림 1과 같다. 각 확산의 과정에서 자극의 1/4이 이웃한 2개의 신경세포들에게 전달되고, 자신은 자극이 1/2로 감쇄되는 반응을 보인다. 그림 1에서 보는 바와 같이 외부에서 1의 자극이 인가되었을 때, 확산이 한 번 일어난 뒤 자극은 (1/4, 1/2, 1/4)의 상태가 되고, 두 번 확산되었을 때 자극은 (1/16, 1/4, 3/8, 1/4, 1/16)의 상태가 된다. 이와 같이 확산을 계속하면 확산이 몇 번 일어난 뒤의 자극의 분포를 살펴보면 가우스 분포와 비슷하게 된다.

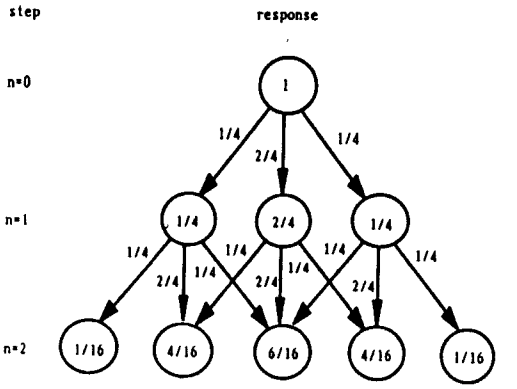

그림 1. 확산의 예
Fig. 1. An example of diffusion.

이와 같은 확산과정을 간단한 회로망으로 나타내면 그림 2와 같다. 이 회로망에서 각 신경세포는 이웃한 신경세포들과 확산계수 α인 시냅스(synapse)로 연결되고, 자신의 반응을 $(1-2\alpha)$로 감쇄시키는 자체 감쇄루프를 가진다. 이와 같이 3개의 연결만으로 확산이 가능하나, 외부입력과 출력을 위한 입력통로와 출력통로가 필요하다. 그림 1에 나타낸 반응은 확산계수 α가 1/4일 때의 예이다. 이 확산신경회로망의 특징은 각 신경세포간의 연결이 매우 적고 연결세기가 고정되어 있다는 것이다.

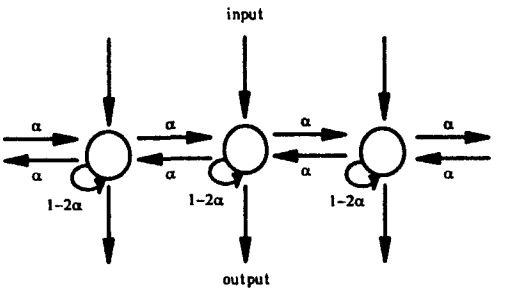

그림 2. 확산신경회로망 모델
Fig. 2. The diffusion neural network model.

여기에서 확산신경회로망 모델을 영상에서 밝기변화를 검출하는 DOG연산에 적용하겠다. 확산신경회로망 모델에서 확산이 n번 일어난 현재 상태값 v(m,n)을 확산이 n′(⟨n)번 일어난 이전의 상태값 v(m,n′)에서 빼면 DOG연산이 이루어진다. 여기에서 v(m,n)과 v(m,n′)은 각각 n번과 n′번 확산과정에서 m번째 신경세포의 상태값을 나타낸다. 보다 간단화하기 위하여 n′=n-1 이라고 두면, DOG연산은 현재 상태값 v(m,n)을 한 단계 이전의 상태값 v(m,n′)에서 빼면 된다.

DOG연산을 위한 확산신경회로망 모델을 그림 3과 같이 분배층, 확산층으로 구성하였다. 분배층에서는 외부자극에 대한 DOG의 초기치를 (-α, 2α, -α)배로 확산층에 인가해 주기 위한 것이다. 분배층의 각 신경세포는 바로 마주 대하는 확산층의 신경세포에는 2α 배의 자극을 전달되도록 연결되어 있고, 확산층의 바로 양 옆의 신경세포와는 -α배의 자극을 전달되도록 연결되어 있다. 확산층은 중첩된 입력을 확산하여 중첩된 가우스분포 즉, DOG를 형성시킨다.

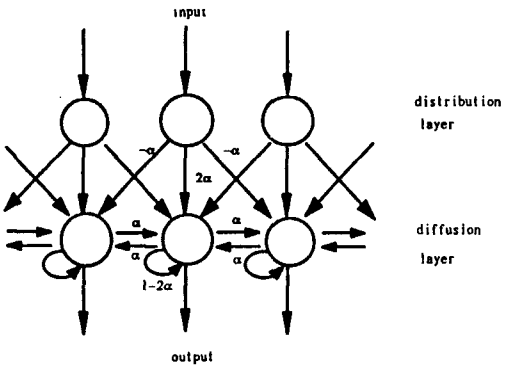

그림 3. DOG연산을 위한 확산신경회로망 모델
Fig. 3. The diffusion neural network model for the DOG operation.

지금까지 1차원 확산신경회로망 모델에 대하여 설명하였다. 그러나 2차원 영상에 적용할 확산신경회로망 모델은 그림 3의 신경회로망모델의 분배층과 확산층에서 처럼 자극의 확산이 좌 우의 신경세포로만 연결되는 것이 아니라 좌 우와 상 하의 신경세포로도 자극이 확산된다. 분배층에서 외부자극에 대한 DOG의 초기치를 (-α, -α, 4α, -α, -α)배로 확산층으로 인가하여 주고, 확산층에서는 (α, α, 1-4α, α, α)배로 확산을 한다. 여기에서 괄호안은 (상, 하, 자기자신, 좌, 우)의 순이다.

Ⅲ. 시스템구성

본 장에서는 확산신경회로망을 이용하여 2차원 영상에서 윤곽선을 검출하기 위한 시스템에 대하여 설명하겠다.

본 실험에서는 LED의 빛의 세기분포는 일반적으로 가우스함수 모양을 하고 있다는 것을 이용하여 확산신경회로망을 광전자적으로 구성하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 전체시스템은 LED array, Photo-TR array, 후처리기(post-processor), 그리고 윤곽선 검출기로 구성되어 있다.

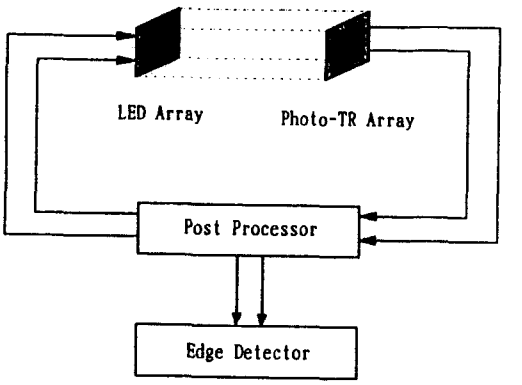

그림 4. 실험 구성도
Fig. 4. Experimental setup.

전체 동작을 살펴보면 먼저 초기 입력영상을 LED array에서 디스플레이하고 Photo-TR array에서는 LED array에서 나오는 빛을 전류로 변환하여 후처리기의 분배층에 연결한다. 그러면 후처리기의 분배층에서는 DOG의 초기치를 발생시키고 출력을 다시 LED층으로 보낸다. 마찬가지로 Photo-TR array에서는 전류를 후처리기의 확산층으로 연결하여 DOG의 초기치를 확산한다. 그리고 확산층의 출력은 다시 윤곽선검출기로 보내 영교차점을 검출하여 윤곽선을 검출한다. 이와같이 계속하여 확산하며 윤곽선을 검출하면 공간주파수 성분이 다른 윤곽선을 확산과정에서 검출할 수 있다.

1. LED array와 Photo-TR array

LED array와 Photo-TR array는 2차원 영상을 디스플레이하고 디스플레이된 영상을 후처리기의 분배층과 확산층의 신경세포로 연결하는 역할을 한다. LED array와 Photo-TR array의 구조를 살펴보면 그림 5와 같다. 그림 5에서와 같이 LED의 중앙 지

점에 자신의 뉴런의 Photo-TR을 두고 그 지점에서 상 하 좌 우로 중앙의 밝기에 비해 주위의 밝기가 1/4이 되는 지점에 각각 이웃하는 뉴런의 Photo-TR을 두었다. 그림 5에서 4 는 자기자신의 뉴런의 Photo-TR을 는 이웃하는 뉴런의 Photo-TR을 나타낸다.

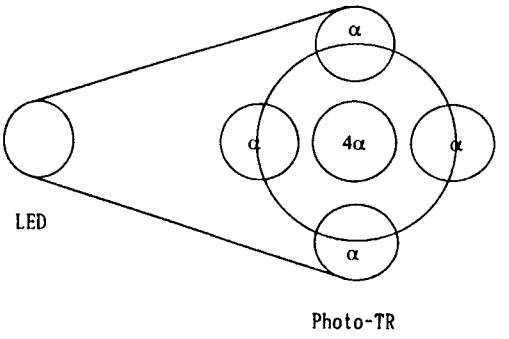

그림 5. LED로 부터 방출된 빛의 Photo-TR상에 보여주는 구성도

Fig. 5. The systematic diagram showing the light intensity distribution of LEDs on Photo-TRs.

2. 후처리기

후처리기에서는 확산신경회로망의 분배층과 확산층의 역할을 한다. Photo-TR array에서 나오는 전류를 전압으로 변환한다. 그리고 분배층과 확산층의 출력을 LED array에 되먹임하고, 확산층의 출력을 윤곽선검출층에 보내 윤곽선을 검출하게 한다.

먼저 분배층에서는 외부 입력에 대해 흥분성반응과 억제성반응을 중첩한다. 즉, 분배층은 초기 입력영상에 대한 DOG의 초기값을 발생시키는 회로이다. 확산층은 분배층에서 DOG의 초기값을 받아서 이를 계속 확산시킴으로서 입력 영상과 분산값이 다른 DOG 함수와의 convolution 연산을 수행하는 회로이다.

3. 윤곽선 검출층

윤곽선 검출층은 확산층의 출력값에서 영교차점 검출하는 기능을 한다. 즉, 확산층의 출력중에서 양수에서 음수로의 변화가 일어나는 점을 찾아내는 회로이다.

윤곽선 검출층은 먼저 확산층의 출력값을 임계치 처리를 하여 임계치이상의 값을 +5V로 하고 임계치 이하인 값을 영으로 두었다. 그리고 양수인 점을 기준으로 하여 주위에 영의 점이 있으면 그 점을 영교차점이라고 인식하고, 그 양수인 점들을 잇는 선을 윤곽선으로 설정하였다.

Ⅳ. 실험결과 및 검토

실험에 사용된 실제 영상은 그림 6(a)와 (b)와 같다. 그림 6(a)와 (b)의 영상을 LED array에 디스플레이시킨다. LED array에 디스플레이된 영상은 Photo-TR array에서 받아 분배층을 거쳐 확산층을 통과하면 입력영상과 DOG 함수와의 콘볼류션된 결과가 나타난다.

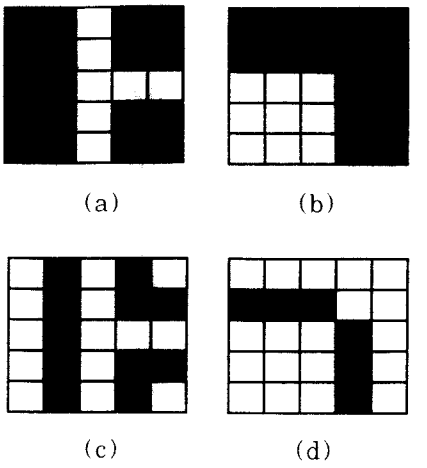

그림 6. 실험에 사용된 입력영상((a), (b))과 컴퓨터 시뮬레이션에서 검출된 윤곽선((c), (d))

Fig. 6. The input images((a), (b)) for the experiment and the detected edges((c), (d)) by the computer simulation.

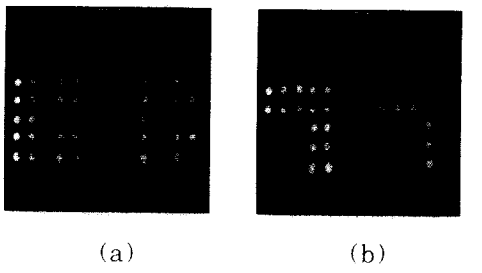

그림 7. 실험에서 사용된 입력영상과 검출된 윤곽선

Fig. 7. The input images and the detected edges by the experiment.

이 확산층의 출력값에 확산을 계속하면 공간주파수성분이 다른 윤곽선을 계속하여 검출할 수 있다. 실험에 이용된 영상이 2진 영상이기 때문에 1회 확산한

결과에서 영상의 윤곽선을 검출할 수 있다. 그러나 2진 영상이 아닌 gray level의 값을 갖는 영상을 입력으로 사용하였을 때에는 매번 확산된 결과에서 공간주파수성분이 다른 윤곽선을 검출할 수 있다. 그림 6(a)와 (b)에 대한 컴퓨터 시뮬레이션의 결과를 그림 6(c)와 (d)에 나타내었다. 그리고 그림 7의 (a)와 (b)에 입력영상과 실제 실험결과의 윤곽선을 나타내었다. 그림 6(c)와 (d)와, 그림 7(a)와 (b)의 결과를 비교하여 보면 두 그림에 결과가 같다는 것을 쉽게 확인할 수 있다.

그리고 본 실험에서는 LED array와 Photo-TR array를 앞서 서술할 때와는 달리 실제로는 LED 1개당 Photo-TR을 5개 이용하여 시스템을 구현하였다. Photo-TR array에서 LED array의 빛을 받으면 자신의 빛의 세기와 주위의 빛의 세기가 합산되기 때문에 분배층에서 $-\alpha$의 기능을 할 수 없다. 그래서 LED array의 각 LED마다 5개의 Photo-TR을 사용하였다. 즉, 중간에 4α배의 자극을 자신으로 연결하는 Photo-TR과 주위로 $-\alpha$배의 자극을 연결하는 4개의 Photo-TR이 필요하다. 또한, 다른 방식으로 시스템을 구성해도 LED와 Photo-TR들의 특성이 각각 다르기 때문에 시스템 구성의 어려움이 많다. 예를 들면 LED들의 특성이 다르면 LED마다 빛의 세기와 빛이 퍼지는 각도가 다르기 때문에 실제로 시스템을 구성하려면 LED와 Photo-TR의 앞뒤 간격이나 Photo-TR들의 상 하 좌 우 간격을 각각 달리하여 설계하여야 한다. 그래서 본 논문에서는 실험상의 편의를 위해서 LED 1개에 Photo-TR 5개를 이용하여 구성하였다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 확산신경회로망을 이용하여 영상에서 윤곽선을 검출하는 시스템을 광학적으로 구현하였다. 확산신경회로망을 이용하면 계속된 확산과정에서 DOG 연산자를 쉽게 구현할 수 있고, 또한, 고정된 연결세기와 적은 연결로 인하여 하드웨어구현에 용이하다.

LED의 빛의 세기분포가 가우스함수 모양을 하고 있기 때문에 LED를 이용하여 시스템을 구성하면 영상과 가우스함수와의 콘볼류션이 쉽게 할 수 있다. 그래서 본 실험에서는 LED를 사용하여 확산신경회로망을 광전자적으로 구현하였다.

구현된 확산신경회로망의 1회 확산결과에서 거의 정확한 윤곽선을 검출하였으며, 이는 컴퓨터 시뮬레이션의 결과와도 일치한다. 또한, 입력영상을 계속 확산시킴으로써 분산값이 다른 DOG연산이 가능하게 되어 일련의 확산과정을 통하여 입력영상의 각 공간주파수성분의 밝기 변화에 기인한 모든 윤곽선을 별도의 회로의 구성없이 얻을 수 있다.

현재 본 실험실에서는 발광소자로는 CRT SLM을 사용하고 수광소자로는 CCD 카메라를 사용하여 윤곽선을 검출하는 전체 시스템을 구현하고자 하는 실험을 진행중에 있다.[11]

參 考 文 獻

[1] H. K. Hartline, "The receptive fields of optic nerve fibers," *Am. J. Physiol.*, vol. 130, pp. 690-699, 1940.

[2] S. W. Kuffler, "Discharge pattern and functional organization of mammalian retina," *J. Neurophysiol.*, vol. 16, pp. 37-68, 1953.

[3] R. W. Rodieck and J. Stone, "Analysis of receptive fields of cat retina ganglion cell," *J. Neurophysiol.*, vol. 28, pp. 833-849, 1965.

[4] C. Enroth-Cugell and J. G. Robson, "The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat," *J. Physiol.*, vol. 187, pp.517-552, 1966.

[5] D. Marr and S. Ullman, "Directional selectivity and its use in early visual processing," *Proc. R. Soc. London* B207, pp. 151-180, 1981.

[6] D. Marr and E. C. Hildreth, "Theory of edge detection," *Proc. R. Soc. London* B207, pp. 187-217, 1980.

[7] 권율, 남기곤, 윤태훈, 김재창, "확산뉴런망을 이용한 밝기변화 추출," *대한전자 공학회 논문지*, 제 29권, B편, 제 11호, pp. 85-92, 1992

[8] Yool Kwon, Ki Gon Nam, Tae-Hoon Yoon, Jae Chang Kim, and H. K. Liu, "Diffusion neural network model for image preprocessing," *ICCNN'94 Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Vol. Ⅶ, pp. 4220-4225, June 28-July 2, 1994, IEEE World Congress on Computational Intelligence.

[9] 권율, 남기곤, 윤태훈, 김재창, "확산뉴런망을 이용한 영상처리," *대한전자공학회 논문지*, 제 30권, B편, 제 1호, pp. 96~98, 1993

[10] 권율, "확산 신경 회로망," 박사학위논문, 부산대학교, 1993

[11] 조철수, 남기곤, 윤태훈, 김재창, 박의열, "DOG 연산자를 이용한 윤곽선 검출 시스템의 광학적구현에 관한 연구" *파동 및 레이저 학술발표회 논문요약집*, pp. 37, 1994

著者紹介

趙 哲 秀(正會員)

1966年 1月 5日生. 1989年 2月 부산대학교 전자공학과 졸업. 1992年 2月 부산대학교 전자공학과 공학석사. 1992年 3月 ~ 현재 부산대학교 전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 신경회로망을 이용한 영상처리 및 시스템 구현 등임.

•

尹 台 熏(正會員) 第 30卷 B編 第 9號 參照
현재 부산대학교 전자공학과 부교수

金 在 昌(正會員) 第 30卷 B編 第 9號 參照
현재 부산대학교 전자공학과 교수

•

南 基 坤(正會員) 第 30卷 B編 第 9號 參照
현재 부산대학교 전자공학과 부교수

•

朴 義 烈(正會員) 第 29卷 B編 第 10號 參照
현재 부산대학교 전자공학과 교수