

인공 시각 장치용 그레이 영상처리 칩 설계

\*손흥락\*, 이재철\*\*, 송재홍\*\*, 김성원\*\*\*, 김형석\*\*

전북대학교 전자공학과, 전북대학교 제어계측공학과, 전북대학교 전자·정보공학부

A Design of Gray Image Processing Chip for Artificial Retina

Hong-Rak Shon, Jae-Chul Lee, Jae-Hong Song, Sung-Won Kim, Hyong-Suk Kim

\*Dept. of Electronic Eng., \*\*Dept. of Control & Instrumentation, Chonbuk National University

\*\*\*Cas Co.

**Abstract** - 그레이 영상 입력력이 가능하고, 다양한 영상 크기에 적용 가능한 아날로그 셀룰라 신경회로망을 설계하였다. 아날로그 셀룰라 신경회로망은 실시간 병렬처리가 가능하므로, 영상처리 패턴인식과 같은 분야에 유용하게 사용될 수 있다. 기존의 하드웨어로 구현된 셀룰라 신경회로망은 이진 영상을 출력하고, 단일 칩에 구현할 수 있는 셀의 수에 제한이 있기 때문에 범용의 영상처리에 응용하기에 적합하지 않다. 본 연구에서 설계된 셀룰라 신경회로망은 영상 입력 크기의 분해능을 향상시켜 그레이 영상 처리가 가능한 칩을 설계하였다. 설계된 셀룰라 신경회로망을 이용한 그레이 영상의 에지추출 시뮬레이션 결과, 선명한 에지 영상을 얻을 수 있었다

또한 셀룰라 신경회로망 템플릿의 공간 불변성은 각 셀들이 모두 같은 모양을 가지게 하므로 레이아웃이 규칙적이다.

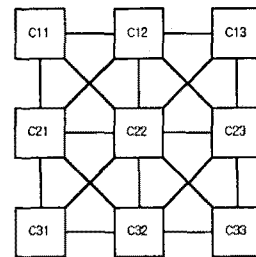


그림 1. 3×3 크기의 셀룰라 신경회로망

1. 서 론

인간의 눈은 입력된 영상을 망막에 분포된 많은 시각 세포들에 의해 병렬로 처리함으로써 특징정보를 찾아낸 다음 뇌에 전달하여 인식하게 하는 병렬처리체계를 가지고 있기 때문에 실시간 인식이 가능하다. 그러나, 영상은 기존의 컴퓨터에 의한 순차처리 방식으로 처리되기 때문에 많은 시간이 소요되어 실시간 이용이 어려운 문제점이 있다. 셀룰라 신경회로망은 기존의 학습용 신경회로망(다층신경망)과는 달리, 경험에 의해서 얻은 weight를 신경회로망적으로 구현함으로써 병렬 마스크 필터와 유사한 연산 구조를 통하여 영상의 실시간 처리를 가능케 하는 신경회로망이다[1]. 셀룰라 신경회로망은 기존의 신경회로망들이 많은 연결을 가지고 동작했던 것과는 달리 인접한 셀들끼리만 연결을 가지면서 주어진 문제의 해를 찾기 때문에, 다른 신경회로망의 경우에 비해 하드웨어 구현이 매우 용이하다는 장점이 있다. 특히, 아날로그 셀룰라 신경회로망은 실시간, 병렬처리가 가능하므로 잠음 제거, 에지 추출, 특징 추출과 같은 영상처리, 패턴 인식에 매우 유용하게 사용할 수 있다. 기존의 구현된 셀룰라 신경회로망은 주로 이진 영상을 처리하였으므로[2-4] 극히 제한 응용에만 적용할 수 있었다. Wang등은 그레이 영상을 취급하는 3×3 영상처리 칩을 개발해서 영상처리한 연구도 있었지만[5], 템플릿처럼 부분적 영상처리를 반복함으로써 전체 영상을 처리하게 되므로 영상의 입출력에 시간 소모가 크다. 설계된 CNN 칩은 회로는 영상처리 능력이 우수하고 모듈라 설계에 의한 확장성이 있는 구조이다.

2. 셀룰라 신경회로망

셀룰라 신경회로망은 주변 셀들과 고정된 연결강도를 갖는 셀들의 배열로, 주변 셀들의 입력, 출력의 영향을 받는 신경회로망이다. 그림1은 3×3 크기 셀룰라 신경회로망으로, 각각의 사각형은 셀을 의미하며, 선들은 셀들간의 연결을 의미한다. 이러한 셀룰라 신경회로망은 지역적 연결 특성때문에 VLSI 구현시 각 셀간의 연결을 쉽게 하고 단위 면적당 많은 셀을 집적화 시킬 수 있다.

셀룰라 신경회로망의 상태 방정식은 다음과 같은 비선형 미분 방정식으로 표현할 수 있다.

$$C \frac{dv_x^{(i,j)}(t)}{dt} = -\frac{v_x^{(i,j)}}{R} + \sum_{k,l \in N(i,j)} A(i,j,k,l)v_y^{(k,l)}(t) + \sum_{k,l \in N(i,j)} B(i,j,k,l)v_w^{(k,l)}(t) + I \dots (1)$$

위 식에서  $V_x$ 는 셀 상태 전압이며,  $V_y$ 는 셀 상태 출력이고,  $V_w$ 는 셀의 입력 전압이다. 위 식의  $A(i,j,k,l)$ 와  $B(i,j,k,l)$ 는 자기 자신의 셀과 이웃셀의 관계를 의미하며,  $A(i,j,k,l)$ 는 이웃셀 출력과의 관계를,  $B(i,j,k,l)$ 는 이웃셀의 입력과의 관계를 나타낸다.  $A(i,j,k,l)$ 와  $B(i,j,k,l)$ 는 인접하는 여러 개의 셀 혹은 입력들과의 관계를 규정하는 가중치 matrix로서 템플릿이라고 부른다. 이 템플릿의 내용에 따라 영상은 다양하게 처리된다.

셀의 출력값은 셀의 상태 값에 영향을 받는데, 출력값은 -1, 1 두 가지의 이진 형태를 갖기 때문에 다음과 식 (2)같은 비선형함수를 사용한다.

$$v_y^{(i,j)} = \frac{1}{2} (|v_x^{(i,j)} + 1| - |v_x^{(i,j)} - 1|) \dots (2)$$

3 셀룰라 신경회로망 설계

제안한 셀룰라 신경회로망 칩 회로는 아날로그 방식으로 실시간 처리가 가능하고, 그레이 영상처리가 가능하게 하였다. 그림 2는 제안한 칩 회로의 셀 회로블록으로 영상입력부분, 상태 입력부분, 상태출력부분으로 나눌 수 있다. 영상입력 부분은 다른 입출력에 영향을 받지 않기 때문에 독립전원으로 표현하고, 상태 입력과 출력은 자기 자신의 상태 출력 및 주변 셀의 영향을 받기 때문에 종속전원으로 나타났다. 자기 자신의 영상입력과 상태

입력, 주위셀로부터 들어오는 입력값들은 더해져 저항을 통해 전압으로 바뀌어 출력 함수의 입력으로 사용된다. 셀 저항은 40kΩ 사용했는데, 이때 셀의 안정도를 유지하기 위해서는 셀 저항의 역수값이 A 템플릿 중심값보다 작아야 한다. 셀 블록에 사용된 캐패시터는 2pF를 사용하였다.

셀의 상태 초기값은 1보다 작거나 같아야 하고, 셀의 입력 역시 1과 같거나 작아한다.

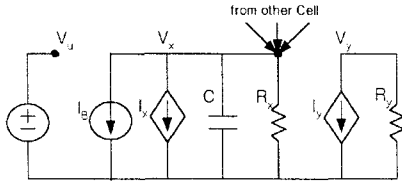


그림 2. 셀 회로 블록다이아그램

### 3.1 템플릿 구현을 위한 analog multiplier 설계

셀룰라 신경회로망을 이용해서 영상처리를 하기 위해서는 입력과 템플릿값을 곱할 수 있는 multiplier가 가장 핵심 부분이다. 이를 위해서 디지털 방식의 multiplier를 사용하는 연구도 있지만 [6], 셀 면적을 많이 차지하기 때문에 본 논문에서는 analog multiplier를 설계하였다. 그림 3은 넓은 동작 영역을 갖도록 한 광대역 analog multiplier로, 4사분면의 곱셈 기능을 갖고 있다. 설계된 multiplier는 두 개의 차동쌍을 가지는데, 첫 번째 M1, M2에 입력되는 차동쌍 (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>)에는 입력 전압이 인가되며, 두 번째 M3, M4, M5, M6에 입력 차동쌍 (V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>)에는 템플릿의 값이 인가된다. M1과 M2를 통해 입력되는 전압 값은 전류 미러를 통해 M3, M4, M5, M6에 전달되어 bias 전류로 작용하므로 이들의 출력 전류는 템플릿 역할을 하는 입력 차동 쌍 (V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>)의 차에 의해 곱해진다. 따라서 출력 전류 I<sub>out</sub>은 식 (3)과 같이 두 개의 차동 입력 전압에 의해 결정된다.

$$I_{out} = \sqrt{\frac{\beta_n \beta_p}{2}} (V_1 - V_2)(V_3 - V_4) \dots (3)$$

여기서,  $\beta_n = \beta_1 = \beta_2, \beta_p = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6$  이다. Multiplier의 출력 전류 I<sub>out</sub>은 저항으로 흐르게 된다.

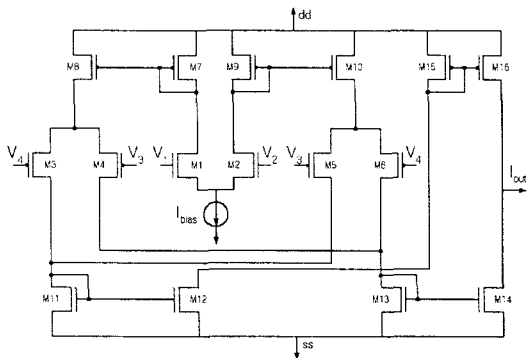


그림 3. Analog Multiplier 회로

### 3.2 이진 출력을 위한 선형 시그모이드 함수 설계

셀룰라 신경회로망은 이진 출력을 위한 비선형 함수로 시그모이드 함수를 이용한다. 높은 이득을 갖는 시그모이드 함수는 셀의 동적 특성을 나타내는데 제약이 있기 때문에 제안한 칩 회로에서는 선형 시그모이드 함수를 사용하였다. 그림 4는 설계된 선형 시그모이드 함수로, 앞단과 뒷단의 공급 전원이 다른 unit gain feedback

connection OP-Amp 회로를 이용하였다. 앞단의 전원은 회로의 공급 전원을 사용하였고, 뒷단의 전원은 시그모이드 threshold 전압인 V<sub>L</sub> 과 -V<sub>L</sub>를 사용하였다. 서로 다른 전원을 이용하는 이유는 시그모이드 함수의 threshold 전압을 가변할 수 있기 때문이다. 뒷단의 회로에 쓰인 C<sub>c</sub>는 위상 보상용으로, 선형 시그모이드 함수의 time delay에 영향을 준다.

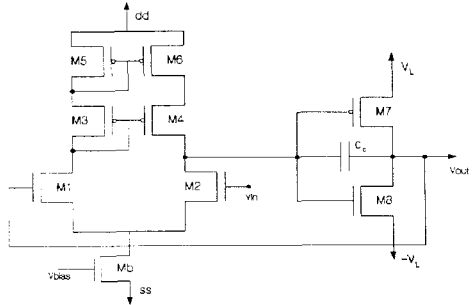


그림 4. 선형 시그모이드 함수

### 3.3 셀룰라 신경회로망의 모듈라 구조

현재의 반도체 집적기술로는 보통 크기의 영상을 한꺼번에 처리할 수 있을 만큼의 노드를 단일 칩에 구현할 수 없으므로 영상처리와 같이 많은 노드를 필요로 하는 분야에는 적용이 어렵다. 따라서 적은 수의 노드로 구성된 칩들을 결합해서 사용할 필요가 있는데 이를 위한 모듈라 설계기술이 필요하다. 제안한 셀룰라 신경회로망 시스템의 구조는 그림 5와 같다. 여러 개의 신경회로망 모듈을 병렬로 배치하고 이를 host에 의해 제어하는 구조이다. 칩의 가장자리 셀에는 다른 모듈의 셀들로부터의 정보를 입력받기 위해 일시적으로 정보를 저장할 수 있는 캐패시터를 포함하고 있어서, 칩이 안정한 상태를 유지하게 되면, 제어 신호에 의해 정보를 전달하게 된다.

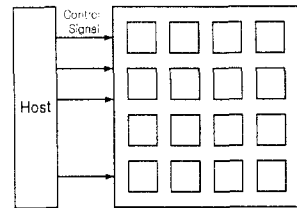


그림 5. 셀룰라 신경회로망의 모듈라 구조

### 4. 셀룰라 신경회로망을 이용한 그레이 영상 처리

제안한 칩 회로를 에지추출에 적용하기 위해 그림 6과 같은 에지 추출 템플릿을 이용하였다. 이 템플릿은 세로 에지만을 위한 것이므로 가로 에지를 구하기 위해서는 템플릿이 방향을 180도 회전하면 된다. 셀 영상입력은 그레이 레벨을 -1과 1사이의 값으로 매핑한 값을 이용하였고, 셀의 초기 상태를 -1을 사용하였다. 셀에 이웃한 셀로부터의 6개의 영상입력과 자기 피드백이 입력되면, 셀이 동작하여 안정한 상태에 이르게 되는데, 이 값을 출력으로 사용한다.

0	0	0
0	2	0
0	0	0

A template

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

B template

그림 6. 에지 추출을 위한 template

그림 7은 설계한 아날로그 multiplier회로의 특성 곡선으로, 그림 3의 회로를 HSPICE로 구현한 결과이다. 특성 곡선에서 보는 것과 같이 analog multiplier의 중요한 요소인 선형성이 출력 범위 안에서 잘 유지되고 있음을 보여 주고 있다. 그림 6의 템플릿을 구현하기 위해 multiplier의 출력범위는 -2에서 2까지 하였다.

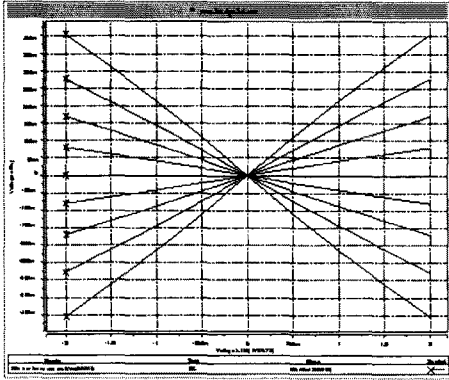


그림 6. analog multiplier의 특성 곡선

그림7은 그림 4의 회로를 HSPICE로 구현한 결과로서 이진 출력을 위한 선형 시그모이드 함수의 특성곡선이다.  $V_L$ 값은 1로 하여 -1에서 1까지의 값을 갖게 하였다. 그림에서 셀의 동적 특성을 나타내는 -1에서 1까지의 선형구간이 잘 구현되었음을 보이고 있다. 선형 시그모이드 출력이 -1이면 그레이 레벨 0을 의미하며, 출력이 1이면 그레이 레벨 255를 의미한다.

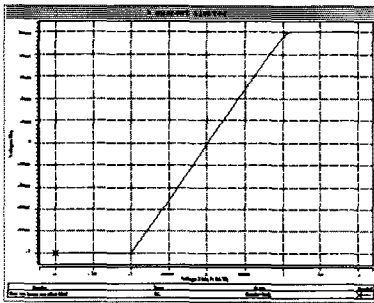


그림 7. 선형 시그모이드 함수의 특성 곡선

설계한 셀룰라 신경회로망 회로를 그림 8(a)와 같이  $20 \times 20$  lena영상의 눈 부분에 적용하였다. 설계한 셀룰라 신경회로망은 픽셀간의 차이가 20를 넘었을 때 예지로 판별하게 하였다. 그림 8(b)는 예지추출 실험 결과로서 깨끗하고 정확한 예지를 얻을 수 있었다.



(a)

(b)

그림 8. 설계한 셀룰라 신경회로망에 의한 예지 추출 결과 (a)원영상 (b)예지추출결과

## 5. 결론

그레이 영상 입출력이 가능하고, 다양한 영상크기에 적용가능한 모듈라 구조의 아날로그 셀룰라 신경회로망을 설계하였다. 아날로그 셀룰라 신경회로망은 실시간 병렬 처리가 가능하므로, 영상처리 패턴인식과 같은 분야에 유용하게 이용될 수 있다. 기존의 하드웨어로 구현된 셀룰라 신경회로망은 이진 영상을 출력하고, 단일 칩에 구현할 수 있는 셀의 수에 제한이 있기 때문에 범용의 영상 처리에 응용하기에 적합하지 않는 제한 점이 있었다. 본 연구에서는 그레이 영상 처리를 위해서 영상입력의 전압-전류 변환시 해상도를 향상시킨 analog multiplier와 선형 시그모이드함수 구현을 위한 unity-gain feedback connection OP-Amp를 이용한 셀룰라 신경회로망을 설계하였다. 설계된 셀룰라 신경회로망을 이용한 그레이 영상의 예지추출 결과, 깨끗한 예지 영상을 얻을 수 있었다.

## 6. 참고 문헌

- [1] Leon O. Chua, Lin Yang, "Cellular Neural Network: Theory," IEEE. Trans. On Circuits and Systems, Vol. 35, No. 10, 1257-1272, 1988
- [2] Leon O. Chua, Lin Yang, "Cellular Neural Network: Application," IEEE. Trans. On Circuits and Systems, Vol. 35, No. 10, 1273-1290, 1988
- [3] Peter Kinget, Michel S. J. Steyaert, "A Programmable Analog Cellular Neural Network CMOS Chip for High Speed Image Processing," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 30, No. 3, March, 1995
- [4] J. M. Cruz, L. O. Chua, "A  $16 \times 16$  cellular Neural Network Universal Chip," Analog Integrated Circuits and Signal Processing, Vol. 15, 227-237, 1998
- [5] Lei Wang, J. Pineda de Gyvez and E. Sanchez-Sinencio, "Time Multiplexed Color Image Processing Based on a CNN With Cell-State Outputs," IEEE Trans. On VLSI Systems, Vol. 6, No. 2, 314-322, 1997
- [6] Mario Salerno, Fausto Sargeni, Vincezo Bonaiuto, "A  $6 \times 6$  Cells Interconnection-Oriented Programmable Chip for CNN," Analog Integrated Circuits and Signal Processing, Vol. 5, 239-250, 1998