

# Stochastic Computing을 활용한 영상처리 설계 및 구현

\*류도현, 유호영

충남대학교 전자공학과

e-mail : dhryu.cas@gmail.com, hyyoo@cnu.ac.kr

## Image Processing Based on Stochastic Computing

\*Dohyun Ryu, Hoyoung Yoo

Electronics Engineering

Chungnam National University

### Abstract

Stochastic computing (SC) represents and processes information in the form of digitalized probabilities. Unlike the form of digitalized integers in the conventional binary computing, the form of digitalized probabilities in SC allows a computational unit to be implemented with a small hardware resource. In this paper, we apply SC to edge detection algorithm and provide experimental results for various bit lengths.

### I. 서론

반도체 회로의 올바른 동작을 위하여 칩 사이즈, 전력 소모량, 높은 신뢰도 등 전기적 물리적 제약 조건을 구현 단계에서 반드시 만족시켜야 한다. 최근 제조 공정이 10 nm 이하로 미세화 되어 칩 사이즈에 대한 제약 조건은 상대적으로 완화되었지만, 전력 소모량, 신뢰도에 대한 제약 조건은 더욱 강화되고 있는 추세이다. 일반적으로 반도체 공정 기술이 하드웨어 성능에 기여하는 비중이 크지만 고 성능 고 신뢰도 회로를 구현하기 위해서 효율적인 하드웨어를 구현하는 기술 연구 또한 필수적이다.

일반적으로 하드웨어 구현은 정수형 데이터인 이진 데이터 포맷을 사용한다. 하지만 이러한 구현 기법은, 미세 공정에 따른 회로의 낮은 신뢰도로 인하여 물리적 전기적 측면에서 많은 제약 사항이 있으므로 CMOS 공정의 대체 기술로 판단되는 차세대 공정 기술의 진보를 저해하는 요소로 판단된다. 본 연구에서는 최근 다시 급부상하고 있는 stochastic computing 기술을 설명하고 이를 영상처리에 적용해본다.

### II. 본론

#### 2.1 Stochastic Computing

Stochastic computing은 approximate computing 기술의 한 종류이다. 이진법으로 표현되는 일반적인 2's complement 숫자 표현 형식 대신 비트 스트림으로 확률을 표현하여 연산을 진행하는 방법이다. Stochastic computing에서는 전체 비트 스트림의 길이 중 1의 개수를 확률로 표현하고 이를 연산에 이용한다. 예를 들어 4/8를 표현하기 위하여 전체 8개의 비트 중 1의 개수가 4개인 비트 스트림을 이용한다.

Stochastic computing은 확률 기반 연산을 진행한다는 특성과 비트 스트림 연산을 통해 산술 연산기의 복잡도를 낮출 수 있다는 장점을 가지고 있다. 곱셈기

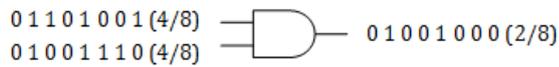


그림 1 Stochastic Computing 곱셈기



(a) (b)

그림 2 전통적인 computing 기반  
(a) Robert, (b) Sobel 윤곽선 검출 결과

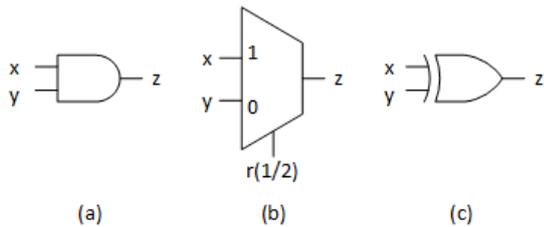


그림 3 Stochastic Computing 기반  
(a) 곱셈기, (b) 덧셈기, (c) 절댓값 연산기

구현을 예로 들어보면, 일반적인 곱셈기는 각 비트에 따라 피연산자를 곱하고 partial sum을 계산한 후 그 값을 accumulation 한다. 이에 따라 많은 수의 full adder가 필수적으로 요구된다. 반면, stochastic computing의 경우 비트 스트림을 활용하면 AND gate 하나로 곱셈기의 구현이 가능하다. 그림 1은 X와 Y가 1/2 또는 4/8를 가진 경우 곱셈을 진행하여 결과 값 1/4 또는 2/8을 출력하는 예를 보여주고 있다.

## 2.2 윤곽선 검출 알고리즘

윤곽선 검출은 가장 널리 적용되는 영상처리 기법으로써 영상 시스템의 특징 추출에 적용된다. 각 픽셀별 마스크를 통해 다른 명암도를 가진 두 영역사이의 경계를 판단한다. 다양한 윤곽선 검출 알고리즘 중 본 논문에서는 대표적으로 적용되는 Robert 알고리즘과 Sobel 알고리즘을 다룬다.

Robert 알고리즘은 식 (1)과 같이 표현 가능하며 기준 픽셀  $X_{i,j}$ 를 기준으로 45도 기울기의 픽셀 값에 대한 연산을 진행한다. 연산 량이 적어 처리속도가 매우 빠르지만 검출 능력에 제한이 있다.

$$Z_{i,j} = \frac{1}{2} (|X_{i,j} - X_{i+1,j+1}| + |X_{i,j+1} - X_{i+1,j}|) \quad (1)$$

Sobel 알고리즘은 식 (2)~(4)와 같이 표현되며 기준 픽셀  $X_{i,j}$ 에 대하여 x축, y축에 대한 연산을 독립적으로 진행하여 평균값을 취한다. Sobel 알고리즘은 Robert 알고리즘 대비 우수한 검출 능력을 보인다.

$$H_{i,j} = (1 \times X_{i-1,j-1} + 2 \times X_{i,j-1} + 1 \times X_{i+1,j-1}) - (1 \times X_{i-1,j+1} + 2 \times X_{i,j+1} + 1 \times X_{i+1,j+1}) \quad (2)$$

$$V_{i,j} = (1 \times X_{i-1,j+1} + 2 \times X_{i-1,j} + 1 \times X_{i-1,j-1}) - (1 \times X_{i+1,j+1} + 2 \times X_{i+1,j} + 1 \times X_{i+1,j-1}) \quad (3)$$

$$Z_{i,j} = (|H_{i,j}| + |V_{i,j}|) \times \frac{1}{2} \quad (4)$$

2's complement를 이용하는 전통적인 computing 기법을 적용한 Robert와 Sobel 윤곽선 검출 결과는 그림 2와 같다.

## 2.3 하드웨어 구현

SC은 하드웨어에서 처리해야할 데이터를 확률로 표현하고 이를 비트 스트림으로 구성하기 때문에 연산을 진행하는 연산기의 구조가 간단하다 [1]-[2]. 그림 3은 곱셈, 덧셈, 절댓값 계산을 위한 SC 연산기를 나타내고 있다. [1]-[2]에 따르면 SC 하드웨어를 구현하기 위해 회로의 Boolean 방정식을 유도하고 이를 논리 회로의 조합으로 표현하는 방식으로 구현을 진행한다. 주어진 기본 SC 연산기를 바탕으로 식 (1)의 Robert 윤곽선 검출 알고리즘을 구현한 하드웨어의 구성은 그림 4와 같고, 식 (2)~(4)를 바탕으로 Sobel 윤곽선 검출 알고리즘을 구현한 하드웨어는 그림 5와 같다.

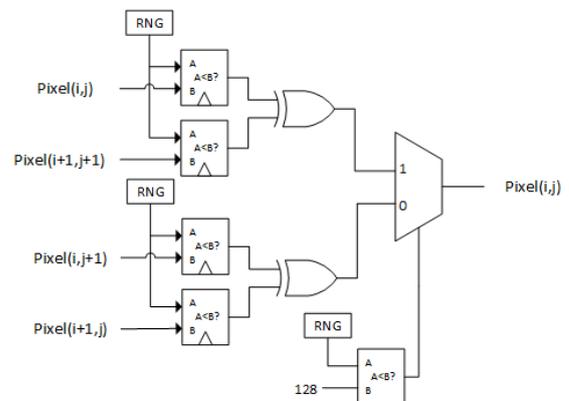


그림 4 Stochastic Computing 기반  
Robert 윤곽 검출 하드웨어

### III. 실험 결과

512×512 pixel의 이미지에 대하여 그림 4와 그림 5의 하드웨어를 이용하여 윤곽 추출을 진행한 결과는 그림 6과 그림 7과 같다. Stochastic computing에서는 비트 스트림을 이용한 시리얼 방식으로 연산을 처리하기 때문에 긴 지연시간을 가지는 단점이 존재한다. 하나의 숫자를 표현하는 precision이 높아질수록 정확도는 높아지지만 긴 비트 스트림에 의해 지연시간은 더욱 악화되므로 빠른 응답 시간을 위하여 시스템의 요구 특성에 맞는 최적의 precision을 결정할 필요가 있다. 비트 길이를 변경하여 실험을 진행하였고, 실험 결과 같은 비트 길이를 가지는 경우 Robert 윤곽 추출 알고리즘 보다 Sobel 윤곽 추출 알고리즘이 더욱 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

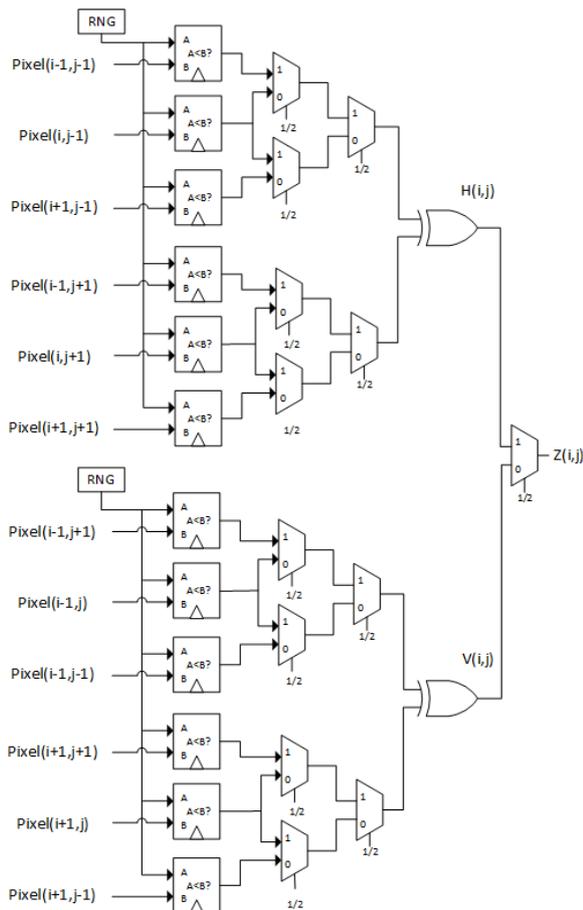


그림 5 Stochastic Computing 기반 Sobel 윤곽 검출 하드웨어

### IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 실험에서는 정확도에 중점을 둔 전통적인 설계 방법에서 벗어나 정확도에 손해를 보더라도 저 면적 저 전력 구조를 실현할 수 있는 SC 설계 방법에 대하여 알아보았다. 특히 작은 범위의 오차가 인지 단계에서 무시되는 사람의 감각과 관련된 영상 처리 분야에 SC를 적용하여 실험을 진행하였고, SC 기법은 향후 CMOS의 미세화를 가능하게 할 뿐만 아니라 CMOS를 대체할 수 있는 새로운 공정 기술의 발전을 가속화 할 수 있을 것으로 판단된다.

### Acknowledgement

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2013-0-00405, 단말 협업형 Giga급 스마트 클라우드로 핵심기술 개발).

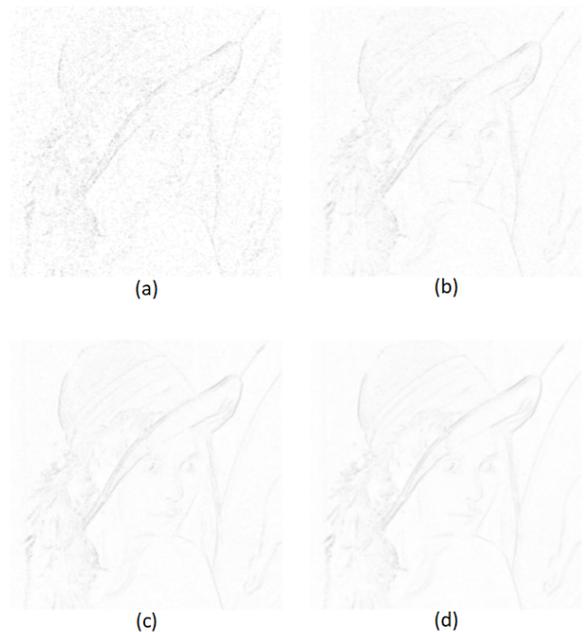


그림 6 SC 기반 Robert 윤곽선 추출 알고리즘 (a) 4 bits, (b) 16 bits, (c) 64 bits, (d) 256 bits



그림 7 SC 기반 Sobel 윤곽선 추출 알고리즘  
(a) 4 bits, (b) 16 bits, (c) 64 bits, (d) 256 bits

### 참고문헌

- [1] A. Alaghi, "The Logic of Random Pulses: Stochastic Computing," Ph.D. dissertation, Dept. Computer science and Engineering, Univ. Michigan, Ann Arbor, 2015.
- [2] A. Alaghi, Cheng Li and J. P. Hayes, "Stochastic circuits for real-time image-processing applications," *2013 50th ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conf. (DAC)*, Austin, TX, 2013, pp. 1-6.
- [3] A. Alaghi, J. P. Hayes, "Survey of stochastic computing," *ACM Trans. Embedded Comput. Syst.*, 12, Article 92, pp. 92:1-92:19, May. 2013.
- [4] O. R. Vincent, O. Folorunso, "A descriptive algorithm for sobel image edge detection," *Proc. Inform. Sci. Inform. Tech. Educ. Conf.*, pp. 97-107, Jun. 2009.
- [5] R. Maini, H. Aggarwal, "Study and Comparison of Various Image Edge Detection Techniques," *International Journal of Image Processing*, vol.3, issue 1, pp. 1-11, 2009.