

베릴로그를 이용한 합성곱 신경망 구현

강보영

성균관대학교 소프트웨어대학

Implementation of Convolutional Neural Network using Verilog

Kang Bo Young

Sungkyunkwan University

지도 교수: 이강운 교수님

연구실명: 집적회로 연구실

개요

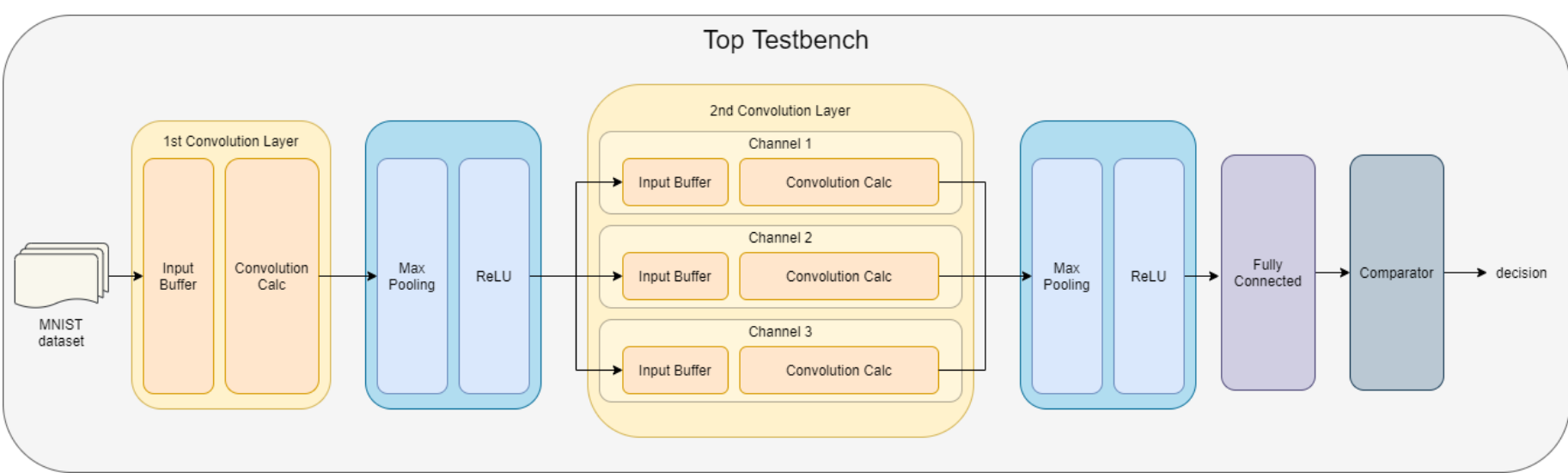
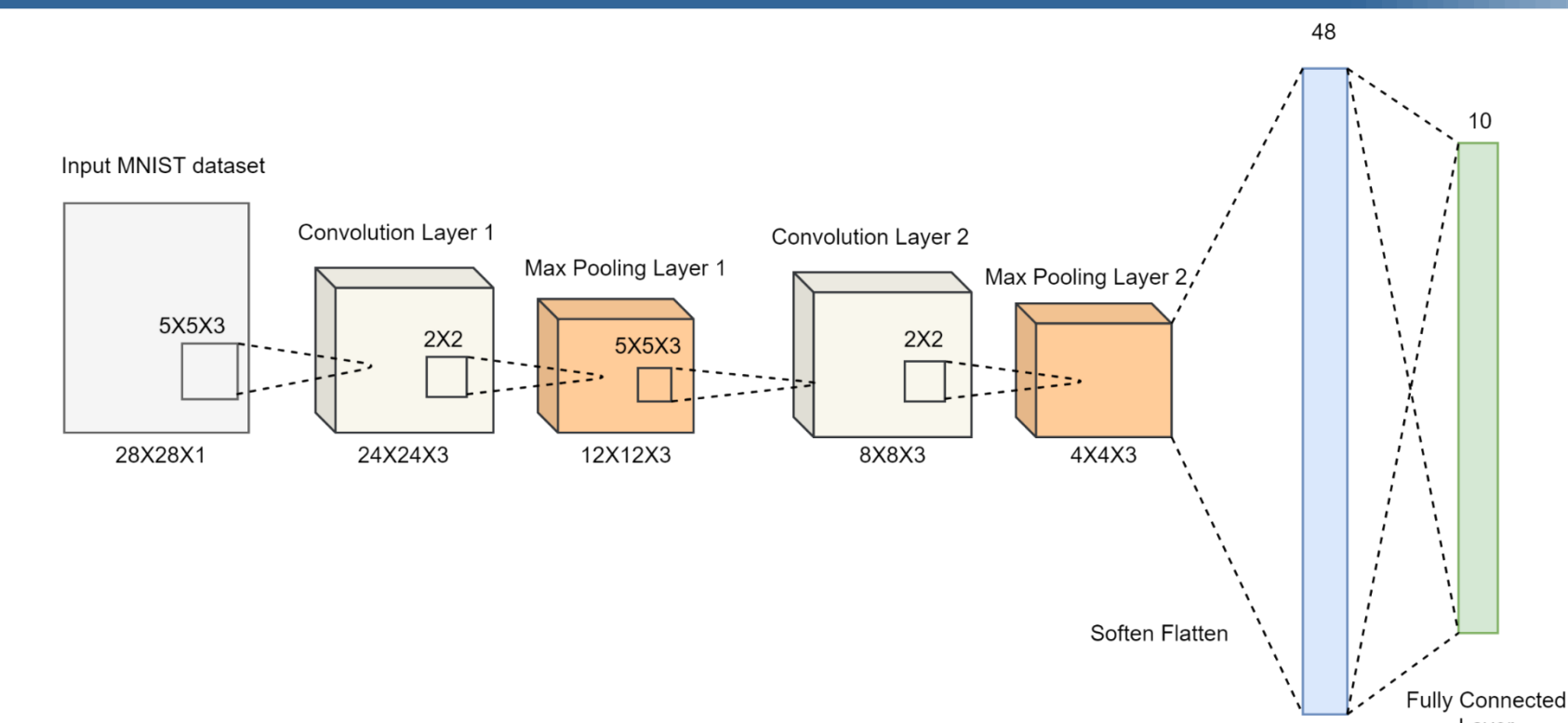
뉴로모픽 기술이란 인간의 뇌 구조를 CMOS 집적회로 기술 기반의 하드웨어로 구현한 것이다. 이는 기존 폰 노이만 구조의 병목 현상을 해결하며, 초저전력으로 고속 동작이 가능하다.

본 연구작품에서는 신경망을 통한 학습 방법 중 하나인 CNN을 verilog 언어를 사용하여 RTL-level 하드웨어 설계를 진행하였다. 설계를 검증하기 위해 MNIST dataset에 대한 학습을 진행하여 인식률 및 소요 시간을 측정하고 분석하였다.

설계 Flow

1. 최소 94% 이상의 적중률을 가지면서 가능한 적은 layer를 쌓아 용량이 작은 CNN 모델을 채택한다.
2. CNN 모델을 사용하여 PyTorch 프레임워크에서 학습을 진행하고, 가중치와 편향값, 입력데이터를 추출한다.
3. RTL과 테스트벤치를 설계하고, 시뮬레이션을 통해 검증을 진행한다.

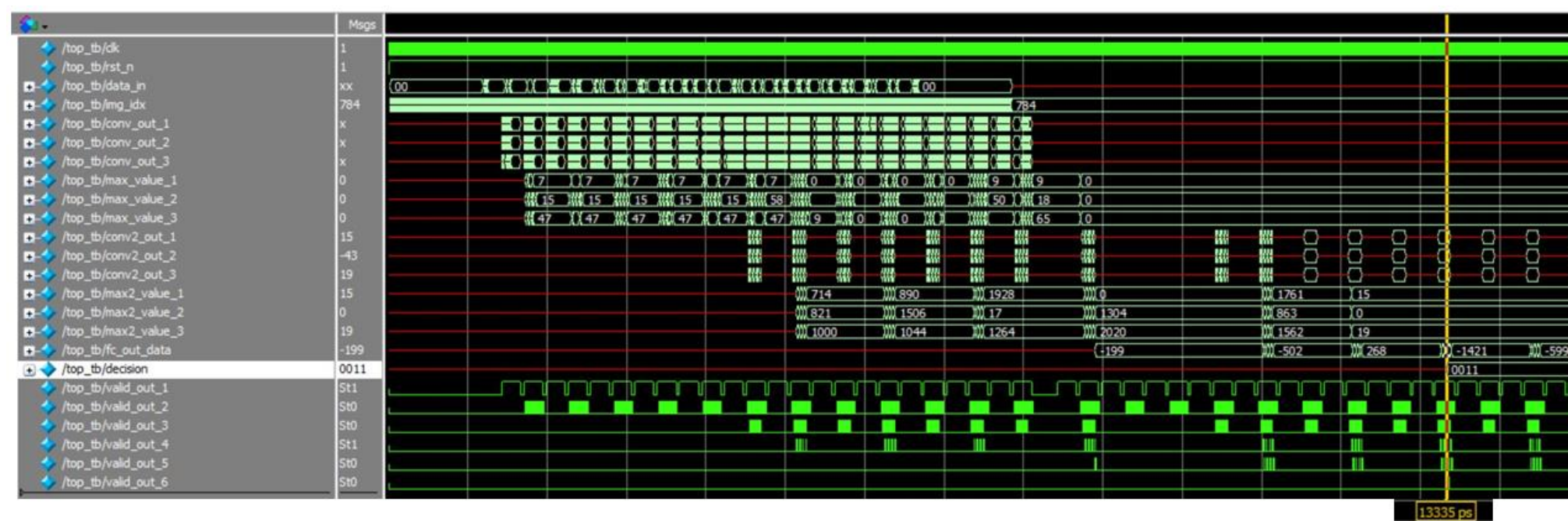
Block Diagram & Sub Module



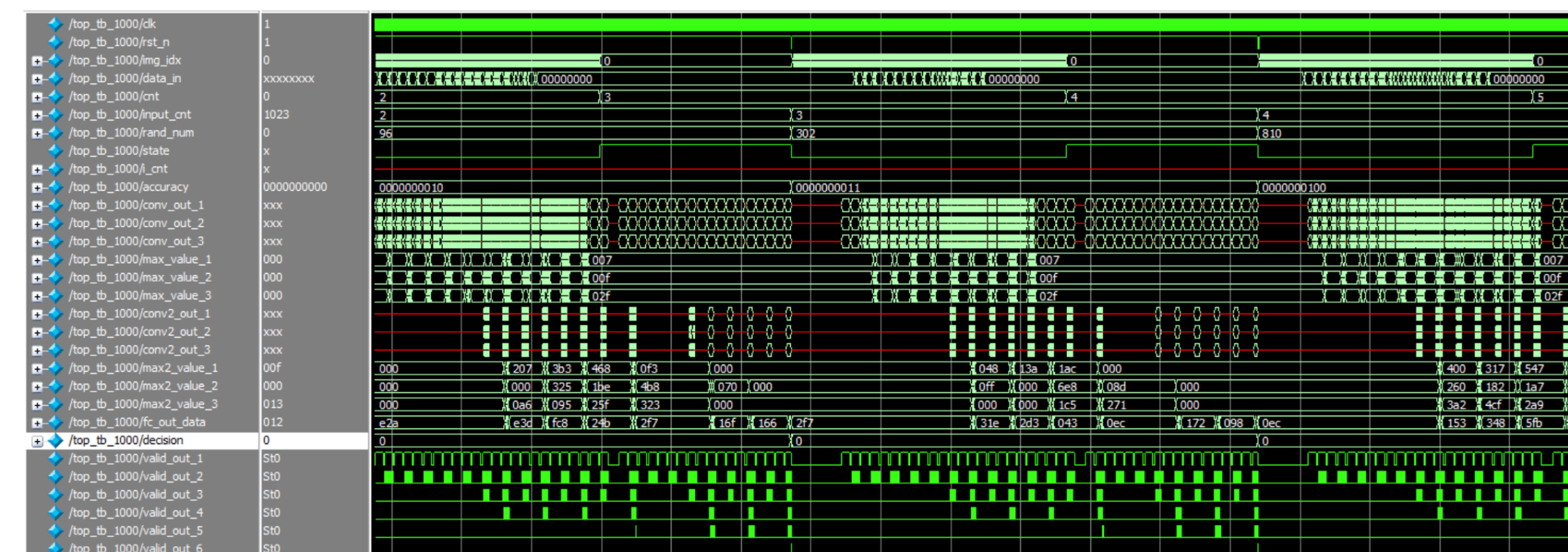
- Convolution Layer : 합성곱 연산을 수행하는 모듈이며, 버퍼와 합성곱 연산 로직으로 구성된다.
- Max Pooling + ReLU : Max pooling과 활성화 함수인 ReLU를 함께 수행하는 모듈이다.
- Fully Connected Layer : 합성곱 연산의 경과값을 통해 최종적인 class 분류를 위해 1-dimensional 벡터로 변환하는 모듈이다.
- Comparator : 학습 결과값을 결정하는 모듈이다.
- Testbench : 파일 입출력 및 system Verilog 를 통해 MNIST dataset을 입력하고 test input에 대한 결과값과 기댓값을 비교하여 설계를 검증한다.

결과

- Modelsim 툴에서 시뮬레이션 한 결과 단일 MNIST 입력데이터에 대해 학습을 진행하여 숫자를 인식하는 데에 10MHz 동작 클럭에서 13335ps 가 소요되었다.



- 연속적으로 1,000개의 입력데이터를 랜덤으로 입력하였을 때, 920번 인식에 성공하여 92%의 적중률을 갖는다.



```

Transcript
# 971st input image : original value = 7, decision = 7 at 12985915 ps ==> Success
# 972nd input image : original value = 2, decision = 2 at 12999275 ps ==> Success
# 973rd input image : original value = 1, decision = 1 at 13012635 ps ==> Success
# 974th input image : original value = 9, decision = 9 at 13025995 ps ==> Success
# 975th input image : original value = 8, decision = 8 at 13039355 ps ==> Success
# 976th input image : original value = 0, decision = 0 at 13052715 ps ==> Success
# 977th input image : original value = 2, decision = 8 at 13066075 ps ==> Fail
# 978th input image : original value = 8, decision = 8 at 13079435 ps ==> Success
# 979th input image : original value = 1, decision = 1 at 13092795 ps ==> Success
# 980th input image : original value = 7, decision = 9 at 13106155 ps ==> Fail
# 981st input image : original value = 7, decision = 7 at 13119515 ps ==> Success
# 982nd input image : original value = 5, decision = 5 at 13132875 ps ==> Success
# 983rd input image : original value = 0, decision = 0 at 13146235 ps ==> Success
# 984th input image : original value = 0, decision = 0 at 13159595 ps ==> Success
# 985th input image : original value = 5, decision = 5 at 13172955 ps ==> Success
# 986th input image : original value = 9, decision = 9 at 13186315 ps ==> Success
# 987th input image : original value = 0, decision = 6 at 13199675 ps ==> Fail
# 988th input image : original value = 2, decision = 2 at 13213035 ps ==> Success
# 989th input image : original value = 8, decision = 8 at 13226395 ps ==> Success
# 990th input image : original value = 1, decision = 1 at 13239755 ps ==> Success
# 991st input image : original value = 4, decision = 4 at 13253115 ps ==> Success
# 992nd input image : original value = 4, decision = 4 at 13266475 ps ==> Success
# 993rd input image : original value = 9, decision = 9 at 13279835 ps ==> Success
# 994th input image : original value = 3, decision = 3 at 13293195 ps ==> Success
# 995th input image : original value = 4, decision = 4 at 13306555 ps ==> Success
# 996th input image : original value = 8, decision = 8 at 13319915 ps ==> Success
# 997th input image : original value = 5, decision = 5 at 13333275 ps ==> Success
# 998th input image : original value = 0, decision = 0 at 13346635 ps ==> Success
# 999th input image : original value = 9, decision = 9 at 13359995 ps ==> Success
# 1000th input image : original value = 7, decision = 7 at 13373355 ps ==> Success

----- Final Accuracy for 1000 Input Image -----
Accuracy : 92%
** Note: Gatop C:/Users/booin/cnn_verilog/cnn_hw/top_tb_1000.v(193)
Time: 13381215 ps Iteration: 1 Instance: /top_tb_1000
Break in Module top_tb_1000 at C:/Users/booin/cnn_verilog/cnn_hw/top_tb_1000.v line 193
    
```

결론

본 연구작품에서는 합성곱 신경망을 하드웨어로 구현하기 위한 RTL-level 설계를 진행하였다. PyTorch 프레임워크에서 CNN 모델을 사용하여 MNIST dataset에 대한 학습을 진행하여 추출한 가중치와 편향값을 사용하였다. 두 개의 테스트벤치를 설계하여 디자인에 대한 검증을 진행하였고, 그 결과 합성곱 연산을 통해 학습이 정상적으로 진행되며 해당 디자인이 92%의 적중률을 갖는 것을 확인하였다.