

Fashion MNIST 환경에서의 Sensory Adaptation 기반 Spiking Neural Network의 안정성 분석

Stability Analysis of a Sensory Adaptation-Based Spiking Neural Network in the Fashion-MNIST Environment

Jaeyeon Park¹, Jungwon Lee²

heenseo2@cau.ac.kr, jungwon0736@snu.ac.kr

Chung-Ang University¹, Seoul National University²

Abstract

Sensory Adaptation (SA) has been proposed as a biologically plausible and energy-efficient alternative to Spike-Frequency Adaptation (SFA) in SNNs, but its stability beyond MNIST remains unclear. This work evaluates SA on the more complex Fashion-MNIST dataset using a CuPy/JIT-optimized simulator over 60,000 training iterations. Parameter sweeps reveal collapse-prone dynamics and identify a stable operating region. SA achieves 61.44% accuracy versus 66.49% for SFA, while reducing spike count and activated neurons, demonstrating a trade-off between accuracy and spike efficiency.

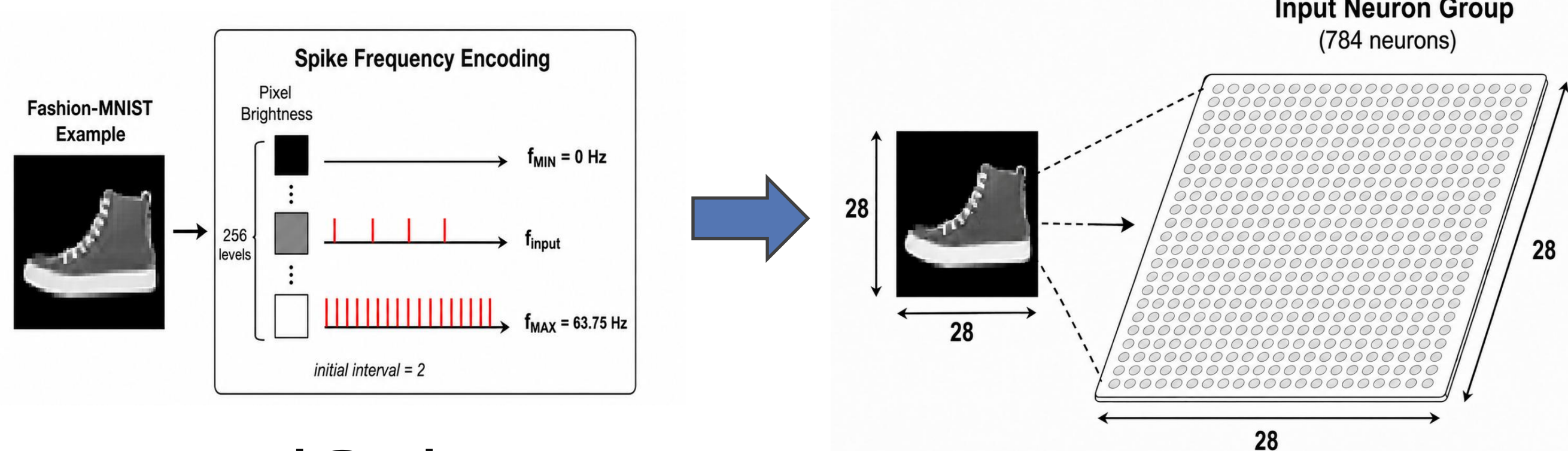
Introduction

- Spiking Neural Network(SNN)** 뇌의 신경망 동작을 모방한 인공 신경망 모델로, 뉴런 간 정보를 연속적인 값이 아닌 스파이크(Spike) 형태의 이벤트 신호로 주고받는 구조이다.
- Spike-Frequency Adaptation(SFA)** 뉴런이 발화한 이후 임계전압을 증가시켜 같은 뉴런의 반복적인 과도한 발화를 억제하는 적응 기법으로, SNN에서 뉴런들이 고르게 학습되도록 돕는다.
- Sensory Adaptation(SA)** 반복적인 입력 자극에 대해 뉴런의 입력 민감도를 점진적으로 낮추는 적응 기법으로, 임계전압 대신 흥분성 입력 전도도를 조절하여 스파이크 수를 줄이는 방식이다.

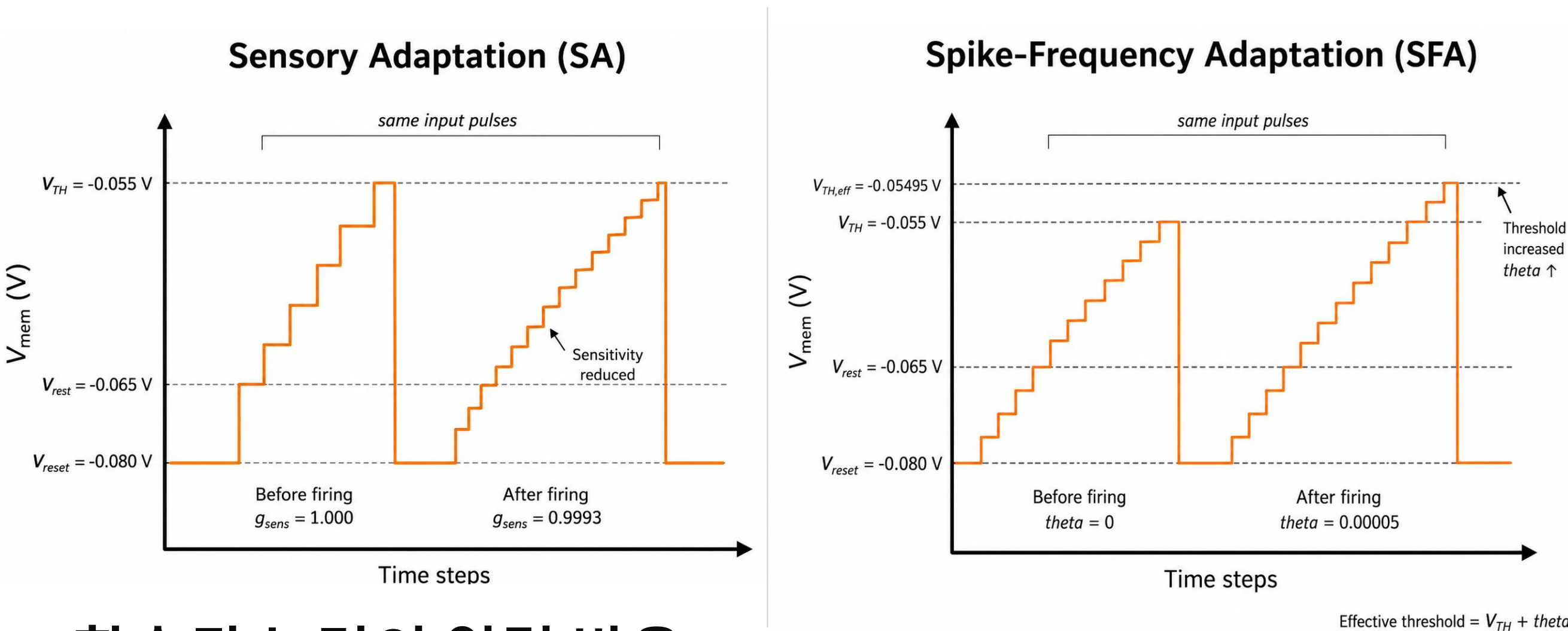
Proposed Structure

- Fashion-MNIST의 복잡한 입력을 spike로 변환해 SNN에 전달하고, SA로 반복 발화 뉴런의 민감도를 조절한다.
- 스파이크와 활성 뉴런 수를 줄여 에너지 효율적 판단 가능

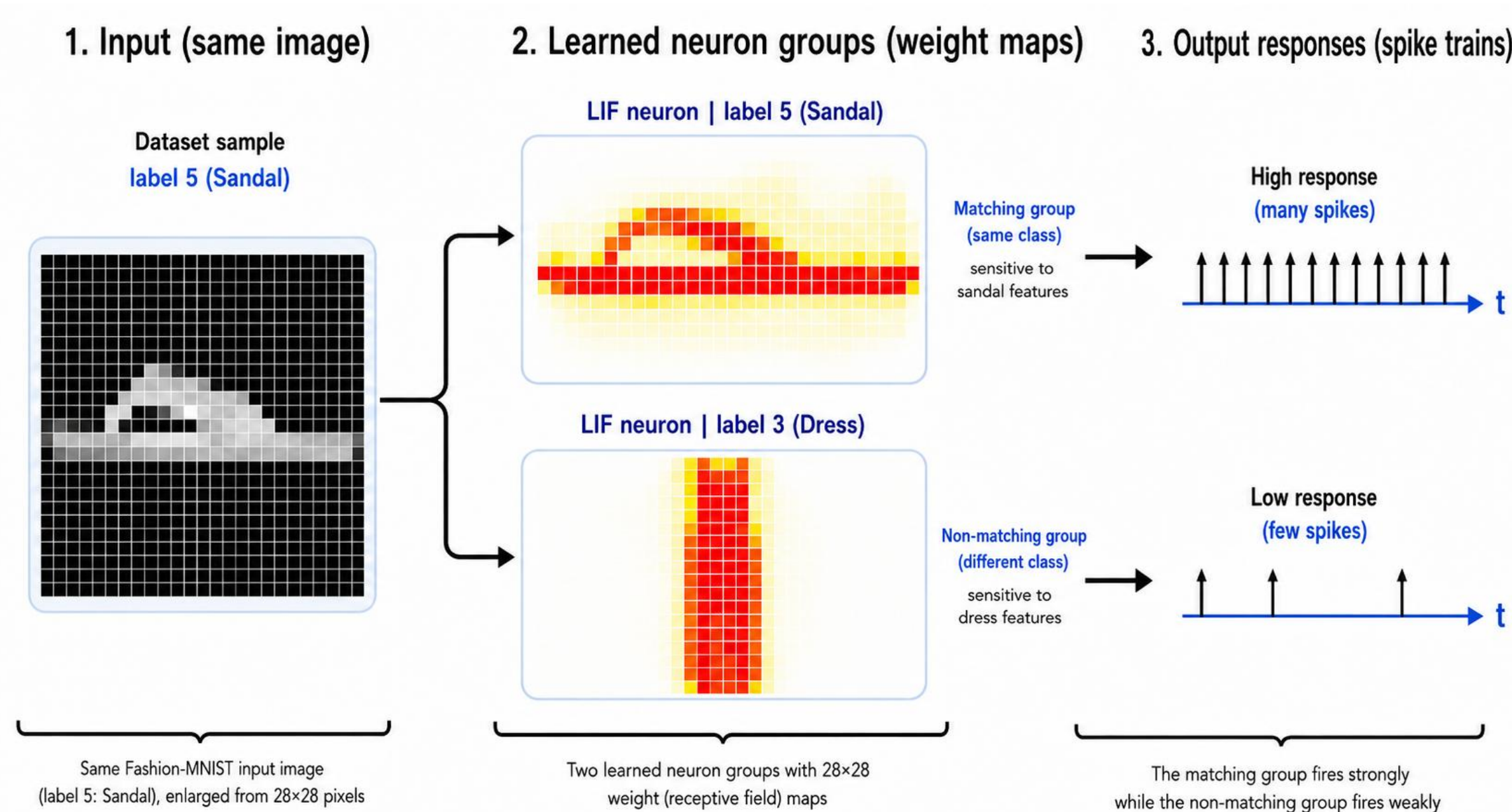
1. 입력 변환 단계



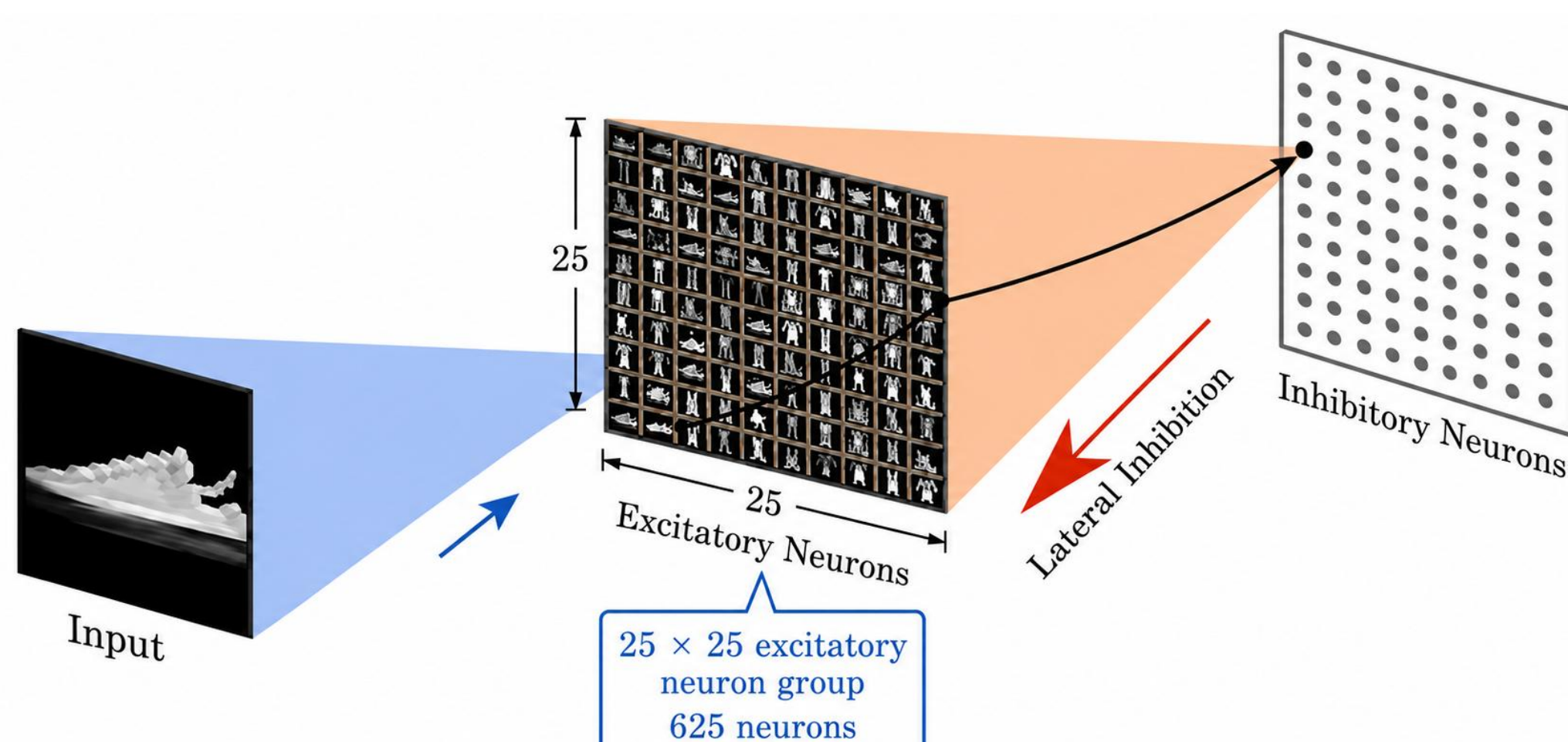
2. SA/SFA 반응 비교



3. 학습된 뉴런의 입력 반응

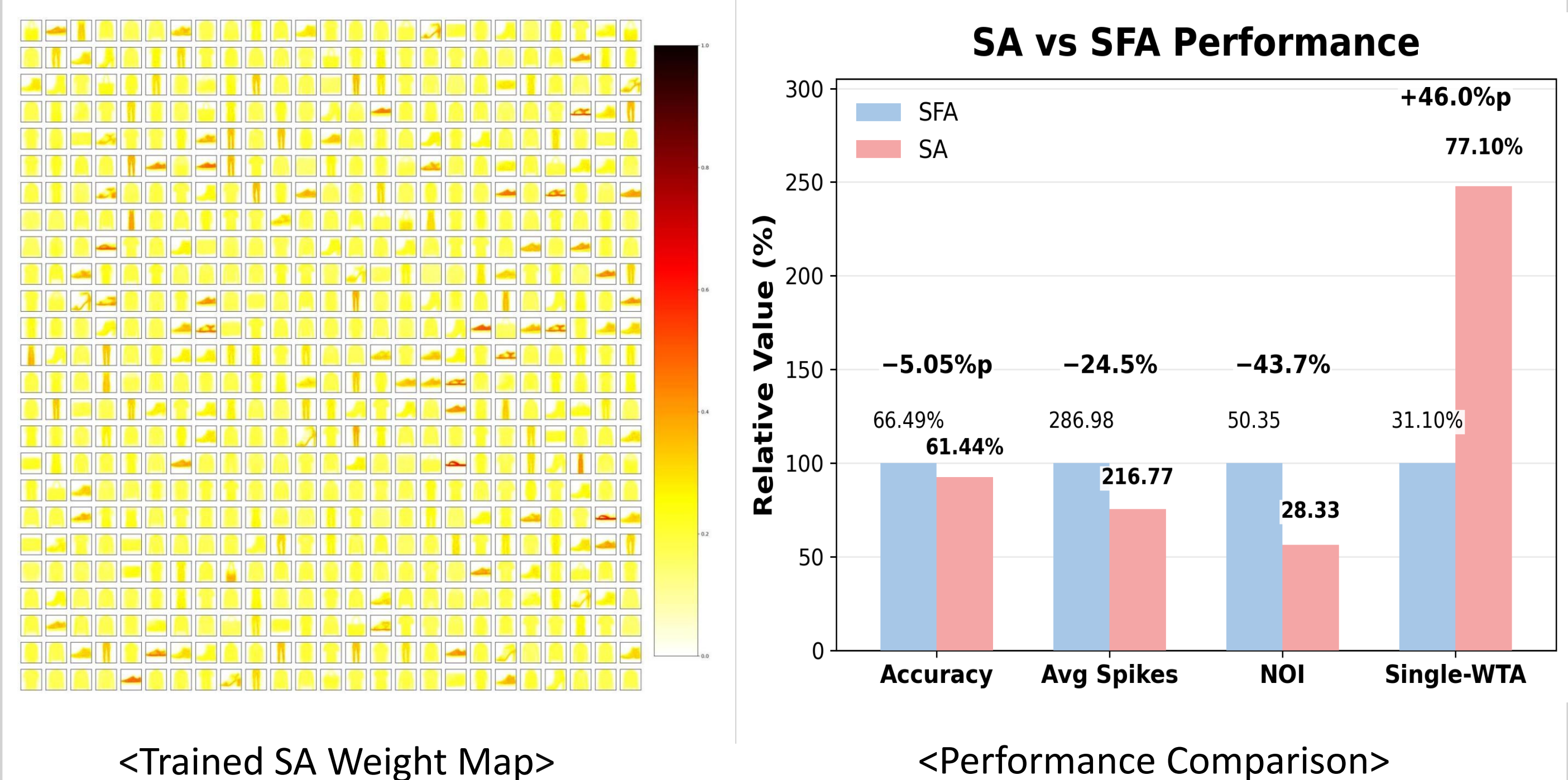


4. SNN 기반 추론 네트워크 구조



Performance Evaluation

- 데이터: Fashion-MNIST, 60,000 iteration 학습 및 10,000장
- 테스트비교: Sensory Adaptation(SA)과 기존 Vth 기반 SFA 구조
- 비교결과: SA는 정확도는 낮았지만, 평균 스파이크 수와 활성 뉴런 수를 감소시켜 저전력 동작 가능성을 확인



- Accuracy: 높을수록 분류 성능이 우수함
- Avg Spikes / NOI: 낮을수록 스파이크 소모와 활성 뉴런 수가 적어 저전력 동작에 유리함
- Single-WTA: 높을수록 한 입력에 대해 하나의 대표 뉴런이 명확하게 선택됨

Conclusion

- Fashion-MNIST 환경에서 SA는 SFA 대비 정확도는 66.49% → 61.44%로 낮았지만, 평균 스파이크 수를 286.98 → 216.77로 감소시켰다.
- 활성 뉴런 수가 50.35 → 28.33으로 감소하며, 불필요한 뉴런 발화가 줄어 **저전력** 동작에 유리한 구조를 보였다.
- Single-WTA 비율이 31.10% → 77.10%로 증가하여, 한 번의 입력 학습에서 **하나의 대표 뉴런**이 더 명확하게 선택되는 경향을 확인하였다.

→ 이를 통해 SA가 복잡한 Fashion-MNIST 환경에서도 **스파이크 소모와 활성 뉴런 수를 줄여**, 정확도와 에너지 효율 사이의 절충점을 형성함을 확인하였다.

Extension Study

- SA의 안정 파라미터를 유지하면서 L1을 기존 625개에서 excitatory/inhibitory 각각 **1250개**로 확장하였다.
- Fashion-MNIST에 맞게 학습 반복 수와 label assignment 조건을 찾아, 더 많은 class별 prototype이 형성되도록 개선하였다.
- 그 결과 SA 정확도는 61.44%에서 **75.97%**로 향상되었으며, 동일 확장 조건의 SFA 방식 **73.96%**보다도 +2.01%p 높은 성능을 보였다.

Reference

- P. U. Diehl and M. Cook, "Unsupervised learning of digit recognition using spike-timing-dependent plasticity," Front. Comput. Neurosci., vol. 9, Art. no. 99, pp. 1–17, Aug. 2015.
- M. Jeon, "A study on the low-power operation of the spiking neural network using the sensory adaptation method," Master's thesis, Dept. of Electronic and Electrical Engineering, Chung-Ang Univ., Seoul, Korea, 2023.

