

013 뉴로모픽 컴퓨팅

Neuromorphic Computing

인간의 뇌 신경망 구조를 모방해 정보를 처리하는 차세대 컴퓨팅 기술

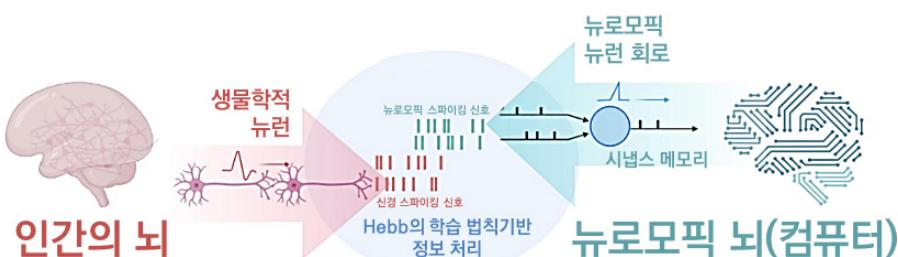
- 뉴런과 시냅스의 작동 원리를 반영해 기억과 연산을 동시에 수행하는 생체 모방형 구조
- 고속·저전력 정보처리를 통해 AI의 효율성과 자율성을 높이는 신경형 계산 방식

● 뉴로모픽 컴퓨팅이란?

뉴로모픽 컴퓨팅은 인간의 뇌가 정보를 인식하고 학습하는 방식을 하드웨어와 알고리즘으로 모방한 신경 모방형 컴퓨팅 구조입니다. 전통적인 폰 노이만 구조가 메모리와 프로세서를 분리해 순차적으로 연산하는 반면, 뉴로모픽 시스템은 뉴런과 시냅스가 동시에 정보를 저장·처리하는 비선형 병렬 구조를 갖습니다. 이로 인해 연산 과정의 데이터 이동이 줄어들고, 학습과 추론을 하드웨어 수준에서 직접 수행할 수 있습니다. 특히 시냅스 강도의 변화(전류 흐름의 패턴)를 통해 학습이 이뤄지므로, 뇌의 전기적 신호 전달 방식과 유사한 정보처리 메커니즘이 구현됩니다. 이 덕분에 뉴로모픽 칩은 AI 모델의 복잡한 계산을 GPU보다 훨씬 낮은 전력으로 처리할 수 있으며, 인간의 사고방식에 가까운 병렬적·자율적 지능 구조를 목표로 발전하고 있습니다.

● 뉴로모픽 컴퓨팅의 특징

뉴로모픽 시스템은 크게 뉴런 회로, 시냅스 메모리, 스파이킹 신호 세 요소로 구성됩니다. 뉴런 회로는 입력 자극을 수용하고, 시냅스는 자극의 강도에 따라 연결 강도를 조절하며, 스파이킹 신호는 전기적 펄스로 정보를 전달합니다. 이러한 구조는 생물학적 뇌의 뉴런 발화 과정을 전자적으로 모사한 것으로, 이벤트 기반 계산을 가능하게 합니다. 즉, 필요할 때만 신호를 주고받아 불필요한 연산을 줄이므로 에너지 효율이 매우 높습니다. 또한 아날로그적 신호 처리가 가능해, 불확실하거나 연속적인 데이터를 처리하는 데 유리합니다. 이런 특성은 AI의 학습·추론 속도를 높이는 동시에 저전력·고효율 연산이라는 새로운 패러다임을 제공합니다.



출처 : Frontiers

● 뉴로모픽 컴퓨팅의 활용

뉴로모픽 컴퓨팅은 에지 AI, 로보틱스, 자율주행, 웨어러블 기기, 뇌-기계 인터페이스(BMI) 등 즉각적인 반응성과 저전력 특성이 중요한 분야에서 주로 연구·활용되고 있습니다. 예를 들어 자율주행 차량의 센서 데이터 처리나 로봇의 환경 인식에서 이벤트 기반 연산을 통해 빠른 반응을 지원할 수 있습니다. 또한 시각·청각 등 다양한 감각 정보를 통합 처리하기 용이해, 향후 보다 자연스러운 인지형 AI를 구현하는 데 기여할 가능성이 있습니다. 뉴로모픽 칩은 GPU, NPU와는 다른 방식으로 연산 및 메모리를 통합한 AI 반도체로서, 일부 연구에서는 하드웨어 수준의 지속적 학습과 저전력 추론을 동시에 추구하고 있습니다. 아직 상용화 초기 단계이지만, 소자 기술과 회로 기술이 발전함에 따라 대규모 병렬 신경망 구현이 가능해질 전망이며, 향후 초저전력 AI 기반 기술로서 잠재력이 높게 평가되고 있습니다.

관련 용어

폰 노이만 구조

1940년대 수학자 폰 노이만이 제안한 개념으로, CPU가 메모리에 접근해 명령을 불러오고, 산술·논리 연산을 수행한 뒤 결과를 다시 메모리에 저장하는 일련의 과정으로 작동합니다. 이 구조는 범용성과 안정성 측면에서 큰 장점을 지니며, 오늘날 대부분의 컴퓨터와 서버 시스템의 기반으로 동작합니다.

하지만 폰 노이만 구조는 메모리와 프로세서가 분리되어 있어 데이터 이동에 많은 시간과 에너지가 소모되는 병목 현상이 발생하며, 이는 대규모 데이터를 동시에 처리해야 하는 AI·딥러닝 환경에서 성능 저하를 초래합니다. 뉴로모픽 컴퓨팅은 바로 이 병목 문제를 해결하기 위해 등장한 새로운 패러다임으로, 메모리와 연산을 통합하고 뉴런·시냅스의 병렬적 작동 방식을 모방해 효율을 극대화하는 구조를 지향합니다.

기존 반도체와 뉴로모픽 반도체의 구조도 비교



관련 용어

뉴로모픽 칩 (Neuromorphic Chip)

뉴로모픽 컴퓨팅의 핵심 하드웨어로, 인간의 뇌 신경망을 모방해 기억과 연산을 동시에 수행하는 반도체입니다. 수많은 인공 뉴런과 시냅스가 병렬적으로 연결되어 데이터를 비선형적으로 처리하며, 학습 과정이 회로 수준에서 직접 이루어집니다. 이러한 구조 덕분에 GPU나 CPU보다 훨씬 적은 전력으로 고속 연산이 가능하고, 실시간 추론이나 환경 적응에도 강점을 보입니다. 뉴로모픽 컴퓨팅이 지향하는 뇌 유사형 정보처리 구조를 물리적으로 구현한 장치로, 자율주행·로보틱스·에지 AI 등 지능형 시스템의 하드웨어 기반을 제공합니다.