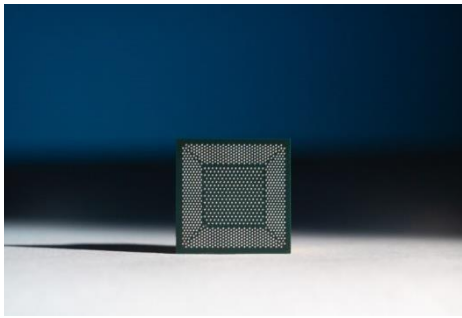


Neuromorphic Computing bei Intel®

Definition 1 – Neuromorphic Computing

Bereits in den 1980er Jahren begannen Wissenschaftler:innen mit der Forschung am sogenannten Neuromorphic Computing. Bei diesem Ansatz orientiert man sich an den Abläufen und Strukturen im Gehirn und versucht diese auf Siliziumebene zu übertragen. So soll eine gänzlich neue Computing-Architektur entwickelt werden, die energieeffizient, dynamisch und lernfähig ist. Diese Eigenschaften sind besonders dann relevant, wenn es um die direkte Interaktion eines Systems mit seiner Umgebung geht, wie beispielsweise in der Robotik oder bei autonomen Anwendungen.



Neuromorphic Computing erfordert eine umfassende Prüfung und Neudefinition des klassischen Computing-Ansatzes und aller bekannten Standards. Mit Intel® Loihi entwickelte Intel speziell zu diesem Zweck einen Forschungschip, der im Rahmen der [Intel® Neuromorphic Research Community \(INRC\)](#) mehr als 100 Teams aus Lehre, Forschung und

Wirtschaft zur Verfügung steht. Das vorrangige Ziel dabei ist, Forschung und Entwicklung gemeinsam mit Partnern und akademischen Instituten voranzubringen und so ein umfassendes Verständnis der Technologie zu entwickeln – einschließlich ihrer Potenziale und Grenzen. Erste kommerzielle Anwendungen werden voraussichtlich am Edge und in der Cloud sowie in hochintegrierten Sensoren und Robotersystemen zu finden sein.

Definition 2

Neuromorphic Computing: Funktionsweise und Forschungsansätze

Bereits in den 1980er Jahren begannen Wissenschaftler:innen mit der Forschung am sogenannten Neuromorphic Computing. Bei diesem Ansatz orientiert man sich an den Abläufen und Strukturen im Gehirn und versucht diese auf Siliziumebene zu übertragen. So soll eine gänzlich neue Computing-Architektur entwickelt werden, die energieeffizient, dynamisch und lernfähig ist. Diese Eigenschaften sind besonders dann relevant, wenn es um die direkte Interaktion eines Systems mit seiner Umgebung geht, beispielsweise in der Robotik oder bei autonomen Anwendungen.

Wie das (technische) Gehirn funktioniert



In unserem Gehirn befinden sich etwa 100 Milliarden Neuronen, die durch Synapsen miteinander verbunden sind und über elektrische Impulse kommunizieren. So ist es möglich, Informationen gezielt von einem Bereich oder einem einzelnen Neuron zum anderen zu schicken. Die Abläufe im Gehirn sind dabei enorm

effizient: Sie verbrauchen nicht mehr als 20 Watt – das ist weniger als der Betrieb einer Glühbirne.

Beim neuromorphen Computing werden die wichtigsten Eigenschaften dieser biologischen Prozesse zur Signalverarbeitung auf Siliziumebene übertragen und für die technische Anwendung optimiert. Zu diesem Zweck entwickelte Intel den Forschungschip Loihi. Dieser umfasst mehr als 130.000 Neuronen sowie 130 Millionen Synapsen und kann auf leistungsfähige Systeme, wie das 768 Loihi-Chips umfassende [Pohoiki Springs](#), skaliert werden.

Im Herbst 2021 stellte Intel die [zweite Generation des Forschungschips](#) vor. [Loihi 2](#) umfasst bis zu eine Million Neuronen und ermöglicht eine schnellere Datenverarbeitung bei verbesserter Energieeffizienz.

Die Intel® Neuromorphic Research Community (INRC)

Intels vorrangiges Ziel beim Neuromorphic Computing ist es, Forschung und Entwicklung gemeinsam mit Partnern und akademischen Instituten voranzubringen und so ein umfassendes Verständnis der Technologie zu entwickeln – einschließlich der Potenziale und Grenzen. Im Rahmen der [Intel® Neuromorphic Research Community](#) (INRC) haben zu diesem Zweck mehr als 100 Forschungsteams aus



Lehre, Politik und Wirtschaft Zugriff auf verschiedene, auf Loihi basierende Systeme.

Seit Gründung der INRC 2018 wurden vielversprechende Anwendungsbereiche für das Neuromorphic Computing identifiziert. Sie beinhalten Robotik, die simultane Positionsbestimmung und Kartierung – eine essenzielle Grundlage für autonome Systeme. Auch Szenarien wie die automatische Erkennung von Mustern in zeitlichen Abläufen, von Geräuschen und Stimmen, Gesten und Gesichtsausdrücken, Gerüchen und Substanzen in Lösungen, werden auf Loihi-basierten Rechnern untersucht.

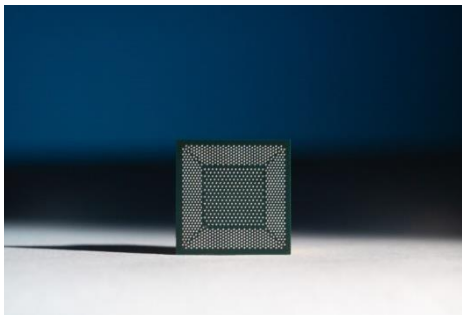
Vor der flächendeckenden Einführung neuromorpher Lösungen ist noch viel Forschungsarbeit nötig. Zudem müssen die Kosten der Systeme weiter gesenkt werden. Die ersten kommerziellen Anwendungen werden voraussichtlich am Edge und in der Cloud sowie in hochintegrierten Sensoren und Robotersystemen zu finden sein.

Definition 3

Neuromorphic Computing: Eine vielversprechende Neudefinition des klassischen Computing-Ansatzes

Bereits in den 1980er Jahren begannen Wissenschaftler:innen mit der Forschung am sogenannten Neuromorphic Computing. Bei diesem Ansatz orientiert man sich an den Abläufen und Strukturen im Gehirn und versucht diese auf Siliziumebene zu übertragen. So soll eine gänzlich neue Computing-Architektur entwickelt werden, die energieeffizient, dynamisch und lernfähig ist. Diese Eigenschaften sind besonders dann relevant, wenn es um die direkte Interaktion eines Systems mit seiner Umgebung geht, beispielsweise in der Robotik oder bei autonomen Anwendungen.

Neuromorphic Computing erfordert eine umfassende Neudefinition des klassischen Computing-Ansatzes und aller bekannten Standards. Mit Intel® Loihi entwickelte Intel speziell zu diesem Zweck ein Forschungschip, der im Rahmen der [Intel® Neuromorphic Research Community](#) (INRC) mehr als 100 Teams aus Lehre, Forschung und Wirtschaft zur Verfügung steht. Das vorrangige Ziel ist es, Forschung und Entwicklung gemeinsam mit Partnern und akademischen Instituten voranzubringen und so ein umfassendes



Verständnis vom Neuromorphic Computing zu entwickeln – einschließlich der Potenziale und Grenzen dieser Technologie.

Wie das (technische) Gehirn funktioniert

In unserem Gehirn befinden sich etwa 100 Milliarden Neuronen, die durch Synapsen miteinander verbunden sind und über elektrische Impulse kommunizieren. So ist es möglich, Informationen gezielt von einem Bereich oder einem einzelnen Neuron zum anderen zu schicken. Die Abläufe im Gehirn sind entsprechend dynamisch und effizient. Sie verbrauchen nicht mehr als 20 Watt – das ist weniger als der Betrieb einer Glühbirne.

Beim neuromorphen Computing sollen die wichtigsten Eigenschaften dieser biologischen Prozesse zur Signalverarbeitung auf Siliziumebene übertragen und für die technische Anwendung optimiert werden. Zu diesem Zweck hat Intel mit dem Forschungschip Loihi eine ganz neue Prozessorarchitektur geschaffen. Loihi basiert auf Intels 14nm-Technologie und umfasst 128 Kerne, mehr als 130.000 Neuronen und



130 Millionen Synapsen. Dabei ist er bei bestimmten Anwendungen bis zu 1.000x schneller und 10.000x effizienter als eine herkömmliche CPU.

2019 bündelten Intel-Forscher:innen 64 Loihis und entwickelten Pohoiki Beach, ein System, das es auf rund 8,4 Millionen künstliche Neuronen und 8,3 Milliarden Synapsen bringt. Letztes Jahr kündigte Intel mit [Pohoiki Springs](#) ein System an, das 768 Loihi Chips und somit mehr als 100 Millionen Neuronen umfasst.

Im Herbst 2021 stellte Intel die [zweite Generation des Forschungschips Intel Loihi](#) sowie das [Open Source Software Framework Lava](#) zur Entwicklung neuro-inspirierter Anwendungen vor. [Loihi 2](#) wird bereits unter Einsatz von EUV (Extreme Ultraviolet) Lithographie in einer Vorproduktionsvariante des [Intel 4 Prozesses](#) hergestellt. Der Chip umfasst bis zu eine Million Neuronen und ermöglicht eine schnellere Datenverarbeitung bei verbesserter Energieeffizienz.

Spiking Neural Networks (SNN)

Auf Loihi basierende Systeme arbeiten mit gepulsten neuronalen Netzen, auch „Spiking Neural Networks“ (SNN) genannt. Die Neuronen im SNN kommunizieren über einzelne Impulse und Puls-Frequenzen miteinander. Das bedeutet, dass alle übertragenen Informationen in der zeitlichen Abfolge und der Frequenzhöhe (Timing und Pulsrate) kodiert sind. Wie im Gehirn werden einzelne Neuronen nur dann aktiv, wenn für sie eine bestimmte Reizschwelle überschritten ist. Dadurch sind die Systeme dynamisch und sehr energieeffizient – ganz wie ihr biologisches Vorbild.

Potenzielle Anwendungen



Die Interaktion mit einer nicht vorhersehbaren Umwelt stellt für Technologie eine große Herausforderung dar. Die meisten Lebewesen beherrschen sie dagegen problemlos. Systeme, die sich am biologischen Gehirn orientieren, sollten hier großes Potenzial bieten. Entsprechend dieser Annahme wurden [im Rahmen der Forschung der INRC](#) vor allem in Anwendungsfällen wie der Robotik, der simultanen Positionsbestimmung und Kartierung – einer essenziellen Grundlage für autonome Systeme – sowie der Spracherkennung und der Klassifikation von Geräuschen positive Ergebnisse erzielt.

Ein konkretes Szenario, das die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten neuromorpher Lösungen verdeutlicht, ist die [Geruchserkennung](#): Basierend auf Loihi entwickelten Forscher:innen letztes Jahr ein Modell des olfaktorischen Systems, das beim Menschen für die Wahrnehmung von Gerüchen zuständig ist. Sie integrierten Mechanismen, die sowohl die Identifizierung bekannter, als auch das selbstständige

Erlernen neuer Gerüche ermöglichen. Mit einer Quote von 92 % konnte Loihi im Test auch stark korrumpierte Proben erkennen – innerhalb von nur 3ms und bei weniger als 1mJ Energieaufwand. Diese Technologie könnte langfristig bei der Drogenfahndung, der Flugsicherheit und sogar der Erkennung von Krankheiten zum Einsatz kommen.

Ausblick

Um das Potenzial des Neuromorphic Computing voll zu entfalten, müssen heutige Standards überdacht und neu definiert werden. Weitere Forschung an einheitlichen Programmiermodellen und passenden Algorithmen ist nötig. Vor der flächendeckenden Einführung müssen zudem die Kosten neuromorpher Systeme weiter gesenkt werden. Die ersten kommerziellen Anwendungen werden voraussichtlich am Edge und in der Cloud sowie in hochintegrierten Sensoren und Robotersystemen zu finden sein.

Stand: Dezember 2021

Über Intel

Intel (Nasdaq: INTC) ist eines der führenden Unternehmen in der Entwicklung zukunftsweisender Technologien, von denen Menschen auf der ganzen Welt profitieren. Inspiriert durch das Mooresche Gesetz arbeiten wir ständig an der Weiterentwicklung unserer Halbleiter-Produkte, um Kunden bei der Bewältigung ihrer größten Herausforderungen bestmöglich zu unterstützen. Wir implementieren intelligente Technologien und Lösungen in der Cloud, im Netzwerk und in allen Geräten dazwischen. Dadurch nutzen wir das volle Potenzial von Daten, die Unternehmen und Gesellschaft verbessern. Mehr Informationen zu Intels Innovationen finden Sie unter www.newsroom.intel.de und www.intel.de.

© Intel Corporation. Intel, das Intel Logo und andere Intel Produkte sind Marken der Intel Corporation oder ihrer Tochtergesellschaften. Andere Marken oder Produktnamen sind Eigentum der jeweiligen Inhaber.