

Neuromorphic Computing

Unter Neuromorphic Computing (NC) versteht man einen alternativen Computing-Ansatz, bei dem die Abläufe und Strukturen im Gehirn mathematisch erfasst und auf Siliziumebene übertragen werden. Auf diese Weise entsteht eine vollkommen neue Architektur, die, genau wie das biologische Vorbild, energieeffizient und dynamisch arbeitet und gleichzeitig lernfähig ist. Diese Eigenschaften sind besonders dann



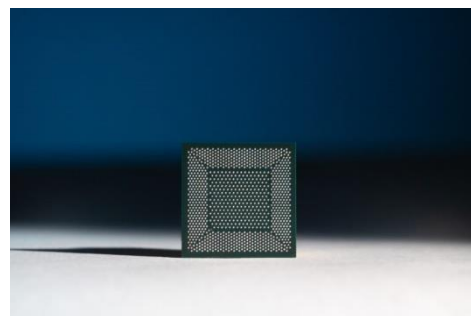
relevant, wenn es um das Zusammenspiel eines Systems mit seiner Umgebung geht: Die Interaktion mit einer unvorhersehbaren Umwelt ist für die meisten Lebewesen natürlich und einfach, Technologien jedoch werden hier vor enorme Herausforderungen gestellt. Ein Computer, der die Grundlagen der Signalverarbeitung im Gehirn

adaptiert, könnte diese Problematik lösen.

Das Neuromorphic Computing zugrunde liegende Konzept wurde bereits in den 1980er Jahren entwickelt, trotz dessen wird heute noch Grundlagenforschung betrieben. Das liegt vor allem daran, dass klassische Computer durch umfassende Hard- und Softwareentwicklungen stetig optimiert wurden und bis heute die Anforderungen zunehmender Automatisierung und Vernetzung ausreichend erfüllten. Neuromorphic Computing nahm man dagegen eher als wissenschaftlich interessanten Forschungsansatz wahr, da es sich stark vom klassischen Computing unterscheidet: Während moderne Computer auf Basis klar definierter Instruktionen und mit einer klaren Trennung zwischen Speicher und Prozessor arbeiten, bilden künstliche Synapsen sowie Neuronen die Grundlage für neuromorphe Systeme. Sie können so [dynamisch auf Signale und Objekte in Daten sowie in laufenden Messungen reagieren](#). Dieser gänzlich neue Ansatz erfordert eine Prüfung und gegebenenfalls eine Neudefinition aller heutigen Standards, darunter verbreitete Algorithmen und Datenformate.

Forschungsergebnisse und praktische Anwendungen

Um das Wissen um Potenziale und Erfordernisse der neuen Technologie auszubauen und die Entwicklung weiter voranzutreiben, hat Intel mit Loihi einen Forschungschip speziell für das neuromorphe Computing entwickelt. Loihi basiert auf Intels 14nm-Technologie und umfasst 128 Kerne, mehr als 130.000 Neuronen und 130 Millionen Synapsen. Dabei ist der Chip bis zu 1.000 Mal schneller und 10.000 Mal effizienter als eine herkömmliche CPU. Einzelne Loihi-Chips können zusätzlich in größeren Systemen skaliert werden. Mit [Pohoiki Springs](#) präsentierte Intel 2020 ein System, das 768 Loihi Chips und somit bereits mehr als 100 Millionen



Neuronen umfasst – das entspricht etwa der Neuronen-Anzahl des Gehirns eines kleinen Säugetiers.

Intel stellte im Herbst 2021 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.

Im Rahmen der [Intel® Neuromorphic Research Community](#) (INRC) stellt Intel verschiedene, auf Loihi basierende, Systeme für mehr als 100 Forschungsteams aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zur Verfügung. Ein zentrales Ziel der INRC ist die Grundlagenforschung – gemeinsam wollen die Mitglieder unter Verwendung von Loihi ein umfassendes Verständnis vom Neuromorphic Computing entwickeln und die benötigten, einheitlichen Standards schaffen. In den letzten Jahren wurden bereits unterschiedliche Theorien und Algorithmen getestet sowie mögliche Anwendungsfälle identifiziert.

Künstliche Sinne: Computer, die riechen und fühlen

Ein konkretes Szenario, das die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten neuromorpher Lösungen illustriert, ist die [Geruchserkennung](#): Basierend auf Loihi entwickelten Forscher:innen 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 Erfolgsquote von 92 Prozent konnte Loihi nach nur einem Trainings-Beispiel auch stark korrumpierte Proben erkennen – innerhalb von nur 3ms und bei weniger als 1mJ Energieaufwand. Entsprechende Lösungen könnten langfristig bei der Drogenfahndung, der Flugsicherheit und sogar der Erkennung von Krankheiten zum Einsatz kommen.



Ein Forschungsteam der National University of Singapore (NUS) arbeitet an einer [künstlichen Haut](#), mit der neuromorphe Systeme zukünftig auch Oberflächen und Gegenstände erfühlen und dabei ihre Beschaffenheit erkennen sollen. Das würde es beispielsweise Robotern in Fabriken ermöglichen, den Druck beim Zugreifen automatisch dem aktuellen Objekt anzupassen. Schäden könnten so vermieden werden.

Intelligente Arme für den Rollstuhl

Mehr als 75 Millionen Menschen weltweit sind zur Fortbewegung auf Rollstühle angewiesen. Bei zahlreichen dieser Personen ist zusätzlich auch die Beweglichkeit des Oberkörpers stark eingeschränkt. In einem [INRC Forschungsprojekt](#) statuen Wissenschaftler:innen Rollstühle mit intelligenten Roboterarmen aus, die beispielsweise bei der Nahrungsaufnahme und generell beim Greifen von Objekten unterstützen können. Zwar gibt es schon heute entsprechende Lösungen, die auf klassischem Computing basieren. Diese verbrauchen jedoch viel Energie. Zudem verursacht die Integration der Bestandteile, die für die Interaktion des Arms mit den Nutzern und der Umwelt zuständig sind, hohe Kosten. Systeme, die auf einem dynamischen und lernfähigen Chip wie Loihi basieren, sollten aus Sicht der Forscher:innen bis zu 10mal kosteneffizienter sein. Da Loihi außerdem etwa 1000mal weniger Energie verbraucht als eine CPU, muss der Rollstuhl seltener aufgeladen werden, was die Alltagstauglichkeit zusätzlich verbessert.



Selbstständige (Fort-)Bewegung

Forschergruppen fanden heraus, dass neuromorphe Systeme sehr effektiv auf Impulse reagieren. Im direkten Vergleich mit CPUs und GPUs konnte das Zusammenspiel von Sensor und Aktuator, also von Impulseempfänger und Effekterzeuger, durch Loihi beschleunigt und präzisiert werden – bei deutlich reduziertem Energieverbrauch. Das ist unter anderem in der Bewegungskontrolle von Vorteil und verbessert mobile Systeme wie Roboterarme oder Drohnen.

Auch die simultane Positionsbestimmung und Kartierung (Simultaneous Localization and Mapping; SLAM), die für die autonome Fortbewegung essenziell ist, stellt ein vielversprechendes Anwendungsfeld für Neuromorphic Computing dar. Mit Loihi ausgestattete Systeme konnten in Tests präzise ihre Umgebung erkennen, kartieren und die eigene Position darin bestimmen – bei bis zu 100mal weniger Energieverbrauch verglichen mit einer CPU. Schließlich bietet Neuromorphic Computing großes Potenzial in der Cloud und beim High Performance Computing. Aktuellen Forschungsergebnisse zufolge könnten bestimmte, eingeschränkte Optimierungsprobleme bis zu 1000mal energieeffizienter und 40mal schneller gelöst werden, als mit herkömmlichen, kommerziellen Algorithmen.

Ausblick

Die vielversprechenden Ergebnisse aus der INRC verdeutlichen schon heute die zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten, die Neuromorphic Computing in ganz unterschiedlichen Bereichen bietet. Bevor die neue Technologie aber ihr volles Potenzial entfalten kann, ist weitere Grundlagenforschung notwendig. Heutige Standards müssen geprüft, angepasst und oft auch neu definiert werden, um NC produktiv einzusetzen. Vor einer flächendeckenden Einführung gilt es weiterhin, die

Kosten der Systeme zu senken. Die ersten kommerziellen Anwendungen werden voraussichtlich am Edge sowie in hochintegrierten Sensoren und Robotersystemen zu finden sein. Auch die cloudbasierte Optimierung-als-Service könnte in absehbarer Zeit unter Verwendung neuromorpher Plattformen angeboten werden.

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.