

Analoges Rechnen: Ein Schlüssel zur Energieeffizienz in der KI



Die Herausforderung der steigenden Rechenleistung

Die rasante Entwicklung der Computertechnik stößt zunehmend an ihre Grenzen. Das Ende des Mooreschen Gesetzes macht neue Lösungsansätze erforderlich. Um die Leistungsfähigkeit von Computern weiter zu steigern, ohne den Energieverbrauch exponentiell wachsen zu lassen, müssen innovative Technologien entwickelt werden.

Analoges Rechnen als Alternative

Eine vielversprechende Alternative zu den traditionellen digitalen Rechenverfahren bietet das analoge Rechnen. Anstatt Informationen in diskreten Werten (Nullen und Einsen) darzustellen und zu verarbeiten, nutzt das analoge Rechnen kontinuierliche Werte. Dadurch können bestimmte Berechnungen, insbesondere in Bereichen wie der künstlichen Intelligenz (KI), deutlich effizienter durchgeführt werden.

Energieeinsparung durch Analoges Rechnen

Ein großer Vorteil des analogen Rechnens liegt in seiner Energieeffizienz. Durch die Vermeidung komplexer digitaler Berechnungen können analoge Systeme den Energieverbrauch um bis zu 87% reduzieren. Dies ist insbesondere für

rechenintensive Anwendungen wie das Training neuronaler Netzwerke von großer Bedeutung.

Anwendungen für energiesparendes Analoges Rechnern

Bei der Kantenerkennung in herkömmlichen digitalen Systemen wird ein ganzes Bild erfasst und rechenintensive Faltungsfilter angewandt, was aufgrund des Speicherzugriffs und der Verarbeitungsanforderungen zu einem erheblichen Stromverbrauch führt. Die analoge Verarbeitung bietet eine effizientere Alternative, indem sie die Intensitätsunterschiede der Pixel direkt auf dem Sensor verarbeitet. Bei diesem Ansatz werden nur die kantenerkannten Daten ausgegeben, ohne dass das gesamte Bild digitalisiert und verarbeitet werden muss. Studien haben gezeigt, dass die analoge Kantenerkennung den Stromverbrauch um 67-87 % senken kann, was sie zu einer äußerst energieeffizienten Lösung für Aufgaben wie Computer Vision und Echtzeit-Bildanalyse macht.

Die analoge Rauschfilterung reduziert die zur Digitalisierung gesendete Datenmenge erheblich und spart so Energie und Verarbeitungsleistung. Wie die Kantenerkennung kann auch die analoge Rauschfilterung den Stromverbrauch erheblich senken, wobei die genauen Prozentsätze von der jeweiligen Anwendung abhängen. Energieeinsparungen von 50-80 % könnten für viele Anwendungsfälle eine vernünftige Schätzung sein, insbesondere in Echtzeit- oder kontinuierlichen Verarbeitungsumgebungen.

Prof. Bernd Ulmann (anabrid GmbH)

„Nach Sarpeshkar (*Analog Versus Digital: Extrapolating from Electronics to Neurobiology*, p. 1601) leistet das Gehirn ca. $3.6 \cdot 10^{15}$ „synaptische Operationen pro Sekunde. Wenn wir vereinfachend annehmen, dass das jeweils eine Gleitkommaoperation ist, können wir dies den aktuell energieeffizientesten Supercomputern gegenüber stellen. Ebenfalls laut Sarpeshkar erfolgt eine Leistungsaufnahme von 12 Watt für ein menschliches Gehirn, was $3 \cdot 10^{14}$ Operationen pro Watt entspricht. Der aktuell (2024) energieeffizienteste Supercomputer, „JEDI“, leistet $7.273 \cdot 10^{10}$ Operationen pro Sekunde. Man kommt mit vertretbarem Aufwand auf ca. 3 bis 4 Dezimalstellen Genauigkeit, was ca. 10 Bit Auflösung entspricht. Eine solche Variable kann über eine einzige Leitung übertragen werden, während in der Digitaltechnik bei paralleler Übertragung 10 Leitungen erforderlich wären.“

Dies zeigt, dass Supercomputer zwar um Größenordnungen energieeffizienter sind als das Gehirn, dass aber die analoge Datenverarbeitung Hoffnung bietet, diese Lücke zu schließen. Studien wie die von Sarpeshkar zeigen Energieeffizienzvorteile von bis zu 10^5 für analoge Techniken in Systemen wie „Silizium-Cochleas“.