

KI-Methoden nach dem Vorbild der Natur

30.7.2026 - Arash Rahimi-Iman | Justus-Liebig-Universität Gießen

JLU-Physiker untersuchen „selbstentwickelnde“ Algorithmen für das Design komplexer optischer Nanostrukturen - Evolution ressourceneffizienter künstlicher Neuronennetze

„Goldener Weg“ der NeuroEvolution eines KI-Modells für die effiziente Designoptimierung von Metaoberflächen (künstlerische Darstellung). Grafik: Arash Rahimi-Iman Wie in der Natur entstehen auch in der digitalen Welt die effizientesten Lösungen durch Evolution. Forschende der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU) haben einen neuen Weg zur technischen Optimierung komplexer optischer Nanostrukturen mit Künstlicher Intelligenz (KI) präsentiert. Dabei erzeugt die KI einerseits durch einen Evolutionsprozess selbst ihre eigene Architektur passend zur Fragestellung. Andererseits verbessert sie durch wiederholten Erkenntniszuwachs die eigene Vorhersagekraft. Das Ergebnis sind kompakte, hocheffiziente neuronale Netze, die bei der Entwicklung optischer Nanostrukturen (Metaoberflächen) mit herkömmlichen, massiveren KI-Modellen mithalten oder diese sogar übertreffen können. Die Studie ist in der Fachzeitschrift „Advanced Intelligent Systems“ veröffentlicht worden.

Die Gestaltung von sogenannten chiralen Metaoberflächen – winzige, nanostrukturierte Bauteile, die Licht auf besondere Weise manipulieren können – ist eine hochkomplexe Aufgabe. Solche „flachen Optiken“ sind entscheidend für die Weiterentwicklung der Photonik, von biomedizinischer Diagnostik bis hin zur lichtgestützten Informationsverarbeitung. Wenn man diese Oberflächen in einen optischen Sensor einbaut, könnte so ein Sensor zum Beispiel bestimmte Veränderungen in einer Flüssigkeit – etwa einer Blutprobe – erkennen, indem er misst, wie sich das Licht verändert, wenn es die Oberfläche berührt. Auf Metaoberflächen basierende chirale Spiegel könnten beispielsweise in optischen Bauteilen Licht gezielt in eine rotierende Form bringen. Das eröffnet neue Möglichkeiten für die sichere Quanten-Kommunikation und kontrastreiche Bildaufnahmen.

Evolution statt Handarbeit

Bisher mussten Forschende die Architektur der KI-Modelle, die bei der Suche nach den optimalen Strukturen helfen, händisch entwerfen. Das ist zeitaufwendig und führt oft zu überdimensionierten Modellen, die unnötig viel Rechenleistung verbrauchen. In ihrer Studie präsentieren Nachwuchsforscher Davide Filippozzi und Arbeitsgruppenleiter Dr. Arash Rahimi-Iman vom I. Physikalischen Institut der JLU einen neuen Ansatz: den Einsatz von „NeuroEvolution“. Anstatt die Struktur des neuronalen Netzes – die Anzahl der Neuronen und deren Verbindungen – vorzugeben, lassen die Forscher die KI durch einen biologisch inspirierten Prozess evolvieren.

Mithilfe des sogenannten NEAT-Algorithmus (NeuroEvolution of Augmenting Topologies) „züchtet“ das System die ideale Architektur für die jeweilige Aufgabe. Das Netzwerk passt sich wie ein Organismus an seine Umwelt an. Um die Effizienz zu steigern, kombinierten die Forscher die Evolution mit einem speziellen Lernverfahren. Dieses Verfahren vergrößert nach und nach das Wissen der KI über die möglichen Lösungen und optimiert gleichzeitig die inneren Einstellungen des Netzwerks bis ins kleinste Detail.

„Nachdem NeuroEvolution datengestützt ein geeignetes Neuronennetz erschaffen hat, schicken wir es über 15 Epochen durch einen Lernprozess, um es für dessen Aufgabe zu trainieren – ähnlich dem Schulleben eines heranwachsenden Menschen“, erläutert Autor Rahimi-Iman, der mit seinem Team diese kombinierte Methodik erforschte. Davide Filippozzi, weiterer Autor der Studie, ergänzt:

„Durch die Kombination von Netzwerkevolution und einer feedbackorientierten Lernstrategie können wir die Schwächen rein genetischer Algorithmen ausgleichen und ihre Stärken – nämlich das Erzeugen kompakter und kompetenter Modelle – voll ausnutzen.“

Vorhersage der optischen Eigenschaften von Nanostrukturen mit KI

Das Ergebnis dieser hybriden Strategie: Die durch Evolution entstandenen Modelle sind deutlich schlanker und sparsamer als herkömmliche, dicht vernetzte Netze. Dennoch erreichen sie eine vergleichbare oder sogar bessere Genauigkeit bei der Vorhersage der optischen Eigenschaften von Nanostrukturen. Sie vermeiden das Problem unnötiger Verbindungen und sind dadurch extrem ressourceneffizient.

Die Bedeutung dieser Methode reicht weit über das aktuelle Design von Metaoberflächen und Metamaterialien hinaus. Die kompakten Modelle können praktisch mittels „Transfer Learning“ von computergestützten Simulationen direkt auf reale experimentelle Messdaten übertragen werden. „Langfristig könnte dieser Ansatz einen Baustein für die agentische KI liefern – also KI-Systeme, die als autonome Assistenten in automatisierten Laboren agieren können“, so Dr. Rahimi-Iman.

Publikation

Filippozzi, D., & Rahimi-Iman, A. “A NEAT Approach to Evolving Neural-Network-Based Optimization of Chiral Photonic Metasurfaces: Application of a NeuroEvolution-of-Augmenting-Topologies Pipeline”. Advanced Intelligent Systems 2026, e70468
<https://doi.org/10.1002/aisy.70468>

Datensatz zur Validierung dieser Methode:

Filippozzi and Rahimi-Iman, “Dataset 'A NEAT Approach to Evolving Neural-Network-based Optimization of Chiral Photonic Metasurfaces: Application of a Neuro-Evolution Pipeline'”. Zenodo, 2026, Jun. 22, 18658018, <https://doi.org/10.5281/zenodo.18658018>

Kontakt

PD Dr. Arash Rahimi-Iman
I. Physikalisches Institut
AG QuantenNanoPhotonik, V.R. & K.I.
Telefon: 0641 99-33124
E-Mail: arash.rahimi-iman

Presse, Kommunikation und Marketing • Justus-Liebig-Universität Gießen • pressestelle

<https://www.uni-giessen.de/de/ueber-uns/pressestelle/pm/pm112-26kinachvorbilddernatur>