

Maschinen das robuste Lernen beibringen

Teaching machines how to learn robustly

Dirk Eidemüller

Der Weg von Dr. Jia-Jie Zhu führte von Shanghai über Florida nach Deutschland. Heute erforscht der Mathematiker neue Methoden des maschinellen Lernens am Weierstraß-Institut.

Dr. Jia-Jie Zhu's career has taken him from Shanghai to Florida and now to Germany. The mathematician is currently researching new machine learning methods at the Weierstrass Institute.

In seiner beruflichen Laufbahn hat der chinesische Mathematiker Jia-Jie Zhu schon einige Wasser überquert. Er ist nicht nur in Shanghai aufgewachsen, sondern hat dort auch an der renommierten Fudan-Universität studiert. Nach seinem Bachelor-Abschluss ist er auf eine Promotionsstelle in die USA gewechselt. Bis zu diesem Punkt verfolgte er noch keine besondere Spezialisierung, sondern erarbeitete sich ein breites Verständnis der mathematischen Grundlagen. Zur Promotion fand er aber ein Thema, das ihn schon immer fasziniert hatte und das er bis heute verfolgt: Optimierungsprobleme aller Art.

Wachsendes Interesse am maschinellen Lernen

Hierzu machte er den ersten großen Sprung über einen Ozean und ging an die University of Florida, wo er in der Gruppe von Prof. William Hager zu Fragen der numerischen Analysis und allgemeinen Optimierungsprobleme forschte. In den insgesamt fünf Jahren, in denen er in Florida lebte, entwickelte er ein zunehmendes Interesse am maschinellen Lernen, also der algorithmischen Herangehensweise an Optimierungsprobleme. Nach der Promotion wechselte Zhu dann von der University of Florida an das Boston College, wo er rund anderthalb Jahre lang als Postdoc arbeitete.

Inzwischen hatte er bereits Kontakte nach Deutschland geknüpft und sich auf ein individuelles Marie Skłodowska-Curie-Forschungsstipendium der Europäischen Kommission beworben. Dieses wurde ihm gewährt und ermöglichte ihm für zwei Jahre eine Finanzierung seiner Forschungsarbeit – und Zhu machte seinen zweiten großen Sprung über einen Ozean, dieses Mal den Atlantischen und nicht den Pazifischen.

In Deutschland angekommen, verbrachte er die nächsten vier Jahre am Tübinger Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme. Während dieser Zeit arbeitete er auch in der Abteilung „Empirische Inferenz“ unter der Leitung von Prof. Bernhard

Throughout his career, Chinese mathematician Jia-Jie Zhu has crossed oceans. He not only grew up in Shanghai, but also attended prestigious Fudan University there. After his Bachelor's degree, he went on to study for his PhD in the US. He had not pursued any particular specialisation up to that point, but had acquired a broad understanding of mathematical principles. For his PhD, however, he found a topic that had always fascinated him, and which he continues to pursue to this day: optimization problems of all kinds.

A growing interest in machine learning

This topic inspired him to take the first big leap across an ocean, to the University of Florida, where he researched problems in numerical analysis and general optimization in the group of Professor William Hager. During his five years in Florida, he developed a growing interest in machine learning, or more precisely the algorithmic approach to optimization problems. After earning his PhD, Zhu then moved from the University of Florida to Boston College, where he worked as a postdoc for around a year and a half.

By this time, he had already established contacts in Germany, and he eventually applied for a Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship from the European Commission. His application was approved, allowing him to fund his research for two years – and Zhu made his second big leap across an ocean, this time the Atlantic rather than the Pacific.

Once in Germany, he spent the next four years at the Max Planck Institute for Intelligent Systems in Tübingen. During this time, he also worked in the Empirical Inference department under the direction of Professor Bernhard Schölkopf. One of the main research areas of this group is machine learning – and so-called kernel methods in particular. These are algorithms that use special mathematical mappings to translate data structures into a more



Schölkopf. Das Hauptarbeitsgebiet dieser Gruppe ist das Maschinenlernen – und dabei insbesondere so genannte Kernel-Methoden. Dies sind Algorithmen, die mit Hilfe spezieller mathematischer Abbildungen Datenstrukturen in eine einfache handhabbare Form überführen. Mit solchen Methoden sollen etwa aus einer beschränkten Anzahl von Messwerten sinnvolle Aussagen über materielle Systeme gemacht werden.

In dieser Zeit beschäftigte sich Zhu unter anderem mit Fragen wie der robusten optimalen Kontrolle von Prozessen, wobei sein Arbeitsgebiet die abstrakte Mathematik ist und nicht die Anwendung auf konkrete Probleme. Die in diesem Forschungsgebiet entwickelten Verfahren zeichnen sich allerdings durch große Allgemeingültigkeit aus und können im Prinzip in vielen verschiedenen Gebieten angewandt werden.

Optimierungsfragen – ein Algorithmus ist nicht unbedingt „schlau“

Während seiner Tübinger Zeit wechselte Zhu auch für einen halbjährigen Forschungsaufenthalt an die Universität Freiburg, wo er sich bei Prof. Moritz Diehl mit sogenannter robuster Optimierung und Kontrolle beschäftigte. Dies betrifft ein Kernproblem von Optimierungsfragen: denn zahlreiche Dinge lassen sich mit Hilfe von Algorithmen und Maschinenlernen optimieren und somit besser steuern und kontrollieren. Wenn sich aber die Parameter ein Stück weit ändern, dann sollte die Optimierung bei einer realen Anwendung nach Möglichkeit immer noch gut bleiben und nicht plötzlich zu schlechten Resultaten führen. Ein Algorithmus ist aber nicht unbedingt „schlau“ genug, um auch jenseits dessen gut zu funktionieren, wofür er entwickelt

easily manageable form. Such methods are used to draw meaningful inferences about material systems, for example, from a limited number of measured values.

While working there, Zhu dealt among other things with questions such as the robust optimal control of processes, where his field of work was abstract mathematics and not its application to concrete problems. The methods developed in this research field, however, are highly general in nature and can theoretically be applied in many different fields.

Problems in optimization – an algorithm is not necessarily “smart”

During his term in Tübingen, Zhu also took half a year to work in the lab of Professor Moritz Diehl at the University of Freiburg, researching so-called robust optimization and control. This is a central problem when it comes to optimization. While many things can be optimised for better control and monitoring thanks to algorithms and machine learning, if the parameters drift further than expected – as can happen in a real world application – the optimization solution still has to perform correctly and not suddenly put everything out of whack. The trouble is, an algorithm may not necessarily be “smart” enough to go beyond what it was developed or trained to do. The research field of robust optimization has set out to solve precisely these problems. Yet, they are mathematically very challenging and difficult to work on. This is all the more so because mathematical modeling is being used in many branches of science and industry, where it is increasingly serving as a decision-making basis.

beziehungsweise trainiert worden ist. Das Forschungsgebiet der robusten Optimierung hat sich zum Ziel gesetzt, genau diese Fragen anzusprechen. Sie sind allerdings mathematisch durchaus anspruchsvoll und schwierig zu bearbeiten. Denn mathematische Modellierung wird in vielen Zweigen in der Wissenschaft und Wirtschaft eingesetzt und dient dort zunehmend als Grundlage zur Entscheidungsfindung.

Jetzt Gruppenleiter am WIAS

Mit diesen fachlichen Voraussetzungen ist Zhu nun vor gut einem Jahr nach Berlin gewechselt und hat eine Stelle am Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (WIAS) angenommen. Dabei hat ihn nicht nur die urbane Lebensqualität motiviert, sondern vor allem die fachliche Kompetenz des WIAS in den Bereichen der Variationsanalyse und computergestützten Analysis.

Als Leiter der Weierstraßgruppe „Datengetriebene Optimierung und Steuerung“ arbeitet er an seinen bisherigen Forschungsgebieten und hat außerdem weitere mathematische Fragestellungen aufgegriffen. Eine davon ist die Anwendung von optimalem Transport auf maschinelles Lernen und Optimierung, bei der Wahrscheinlichkeitsverteilungen anstelle von deterministischen Objekten manipuliert werden. Ein weiteres Arbeitsgebiet ist der robuste Umgang mit Datenstrukturen unter unsicheren Bedingungen. Daraus lässt sich etwa abschätzen, wie gut man von einer vergangenen Pandemie auf die nächste schließen kann. Genau diese Vielfalt an Optimierungsmöglichkeiten ist es, die für Zhu den Reiz an der mathematischen Arbeit ausmacht. Im Augenblick fühlt er sich jedenfalls in Berlin sehr gut aufgehoben, weshalb die Optimierung seines Lebensweges keine baldige Schwerpunktverlagerung über den nächsten Ozean vorsieht.

Now group leader at WIAS

With these professional qualifications, Zhu moved to Berlin around a year ago, where he accepted a position at the Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics (WIAS). He was motivated not only by the city's quality of life, but above all by the expertise at WIAS in the fields of variational analysis and computer-assisted analysis.

As the head of the Weierstrass Group Data-driven Optimization and Control, he continues to work in his former research areas in addition to tackling new mathematical questions. One is applying optimal transportation machine learning and optimization, which involves manipulating probability distributions instead of deterministic objects. Another area of research is robustly handling data structures under uncertain conditions. An example of such uncertain settings could be estimating how well what we learned from a past pandemic can be extrapolated to the next one. It is precisely this diversity of optimization possibilities that makes mathematical work so appealing to Zhu. For now, at any rate, he feels very much at home in Berlin, which is why the optimization of his career path does not include envisaging a move across the next ocean anytime soon.

Translation: Peter Gregg
Foto / Photo: AdobeStock

