



MASTERARBEIT

„Geometrie & Machine Learning“

Mathis Gerdes

Elitestudiengang „Theoretische und Mathematische Physik“

Ludwig-Maximilians-Universität München, 2021

Calabi-Yau Metrik mit Machine Learning

Mathis Gerdes hat im Elitestudienprogramm „Theoretische und Mathematische Physik“ an der Ludwig-Maximilians-Universität München und Technischen Universität München studiert. Dort hat er sich im Rahmen seiner Masterarbeit mit der Entwicklung von Machine-Learning-Methoden zur Bestimmung sogenannter Calabi-Yau Metriken beschäftigt, welche zentrale Bausteine in String Theorie Modellen der Teilchenphysik sind.

Machine Learning

Seit Apples Siri, Amazons Alexa und Googles selbstfahrenden Autos ist Machine Learning, also maschinelles Lernen, ein beliebtes Thema in den Medien und der Popkultur geworden. Doch Machine Learning kann nicht nur eingesetzt werden, um auf Sprachbefehl das Wetter zu berichten und Katzen- von Hundefotos zu unterscheiden. Auch in der theoretischen Physik wird an neuen Anwendungen dieser Methoden geforscht, um schwierige Rätsel des Universums zu lösen, von der Suche nach fernen Galaxien bis hin zur elementaren Teilchenphysik.

Machine Learning ist ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz und lässt sich verstehen als eine Sammlung verschiedener Methoden, die versteckte Muster in komplizierten Problemen finden kann. Ein gutes Beispiel ist die Gesichtserkennung. Für Menschen ist es einfach Augen, Nase und Mund zu erkennen. Aber es ist sehr schwierig zu beschreiben, wie genau wir dies tun. Ohne Machine Learning muss der Programmierer dem Computer exakt definieren, welche Muster diese Objekte ausmachen. Wird Machine Learning verwendet, muss der Programmierer anstelle der Lösung lediglich eine Definition des Problems beschreiben. Der Computer versucht dann automatisch Muster zu erkennen und "lernt" damit eine Lösung.

Geometrische Objekte in der Physik

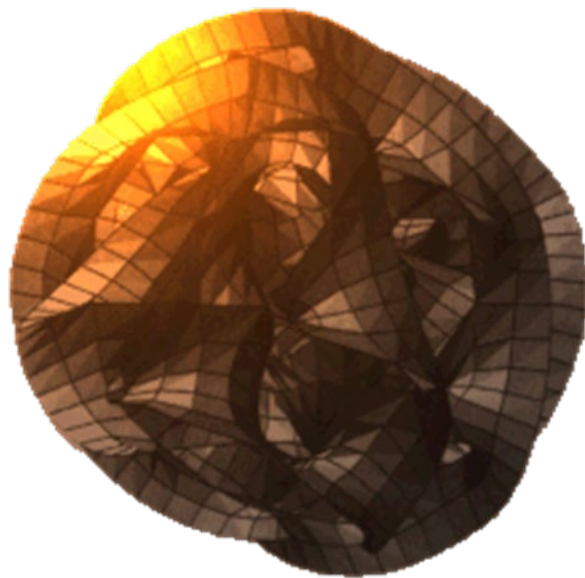
Seit Einstein verstehen wir Raum und Zeit als eine sogenannte „Mannigfaltigkeit“: ein geometrisches Objekt wie etwa die Oberfläche einer Kugel, die Sphäre, ein Zylinder oder eine Ebene. Verschiedene Mannigfaltigkeiten unterscheiden sich in ihrer lokalen Geometrie. Diese wird mathematisch beschrieben mithilfe einer sogenannten „Metrik“. Intuitiv ist die Metrik etwa eine Kollektion von Linealen, mit der überall auf dem Objekt der Abstand zwischen zwei Punkten gemessen werden kann. Eine zentrale Eigenschaft der Metrik ist, dass sie intrinsisch für das Objekt definiert werden kann, also unabhängig von unserer Vorstellung wie es als Gegenstand im dreidimensionalen Raum erscheint. Das ist entscheidend, wenn wir Objekte mit mehr als zwei Dimensionen untersuchen wollen; diese können wir uns nicht als Gegenstände vorstellen. Ohne etwas von einer dritten Dimension zu wissen, könnten Bewohner einer Sphäre genaue Messungen der Metrik ihrer Welt machen und so feststellen, dass ihre Welt rund und nicht flach ist. Wir befinden uns in einer ähnlichen Situation, da wir untersuchen wollen, welche Geometrie unser Raum, genauer unsere Raumzeit, hat.

Calabi-Yau Mannigfaltigkeiten

Die String Theorie ist ein besonderer Versuch die Theorien der Gravitation und der Quantenmechanik zu vereinen. Es stellt sich hierbei heraus, dass die Theorie nur stimmig ist, wenn wir neun, nicht drei, Raumdimensionen haben. Da wir nur drei Raumdimensionen beobachten, müssen sechs dieser Dimensionen

für uns nicht bemerkbar sein. Eine vielversprechende Möglichkeit hierfür ist, dass die sechs Dimensionen in einer sogenannten „Calabi-Yau“ Mannigfaltigkeit für uns unsichtbar „kompaktifiziert“ sind.

Die Existenz von Calabi-Yau Mannigfaltigkeiten ist zwar bewiesen, das heißt es gibt Metriken, welche die Calabi-Yau Gleichungen erfüllen, allerdings sind keine solche Metriken bekannt. In dieser Masterarbeit wurden neue Machine Learning Algorithmen entwickelt, welche die Calabi-Yau Metriken schneller und genauer annähern können als konventionelle Methoden. Einige Vorhersagen von String Theorie Modellen der Teilchenphysik lassen sich nur mithilfe dieser Metriken ableiten. Die neuen Algorithmen erleichtern somit in Zukunft die Untersuchung von String Theorie Modellen und den Vergleich mit experimentellen Beobachtungen.



Ein dreidimensionaler Schnitt durch eine Calabi-Yau-Mannigfaltigkeit

Mehr zum Elitestudiengang:

www.elitenetzwerk.bayern.de