

3D-Simulation und prototypischer Aufbau eines durch Reinforcement Learning gesteuerten Labyrinths

Masterarbeit Sandra Verena Lassahn

Prof. Dr.-Ing. Marc Hensel und Prof. Dr. rer. nat. Ulrike Herster

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Technik und Informatik · Department Informations- und Elektrotechnik

Maschinelles Lernen ist ein rasant wachsendes Forschungsfeld, das in den letzten Jahren immense Fortschritte gemacht hat. Es findet eine breite Anwendung in verschiedensten Bereichen wie der Robotik, bei autonomen Systemen, Sprachassistenten oder im Gesundheitswesen. Das Ziel dieser Masterarbeit war die Entwicklung eines Systems, welches mittels Reinforcement Learning selbständig lernt, eine Kugel durch komplexe Labyrinth zu navigieren, ohne dass diese in ein Loch fällt. Durch die Entwicklung einer detaillierten 3D-Simulation und eines physischen Demonstrators kann das Potenzial von KI (Künstlicher Intelligenz) nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch veranschaulicht werden. Hierfür waren interdisziplinäre Aspekte aus Informatik, Mathematik, Physik, Neurowissenschaften, Elektronik und Mechanik zu vereinen.

3D-Simulation

Die virtuelle Umgebung ermöglicht es, das System unter kontrollierten Bedingungen zu trainieren und seine Leistungsfähigkeit zu testen. Das dynamische Rollverhalten der Kugel wird anhand der auf sie wirkenden physikalischen Kräfte präzise modelliert. Die Kollisionen mit Wänden werden als inelastische Stöße und Eckenkollisionen als dezentrale Stöße simuliert. Insgesamt wurden sechs verschiedene Spielplatten realisiert und trainiert.

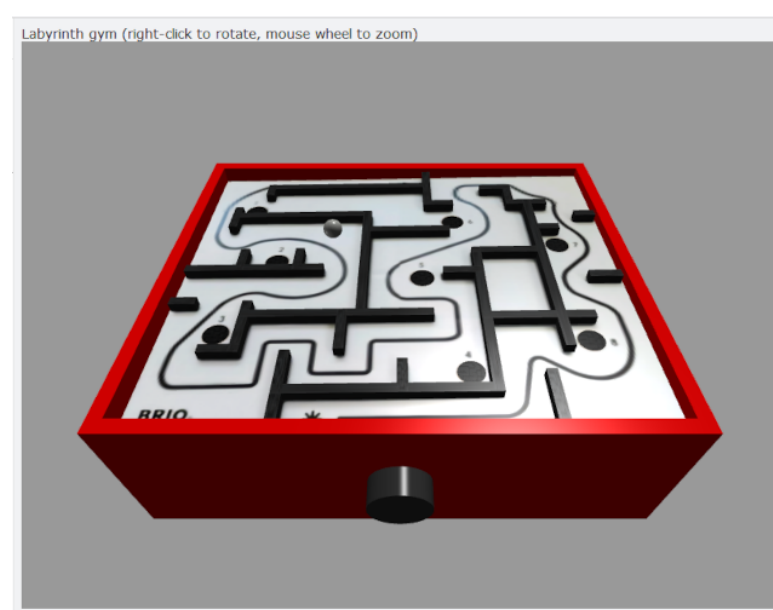


Abbildung 1: 3D-Simulation

Reinforcement Learning (RL)

Reinforcement Learning (RL) verwendet Verfahren, bei denen Verhaltensweisen „belohnt“ (bzw. bei negativer Belohnung „bestraft“) werden. Das Ziel besteht darin, die kumulative Belohnung zu maximieren, indem das System selbstständig eine optimale Handlungsstrategie erlernt.

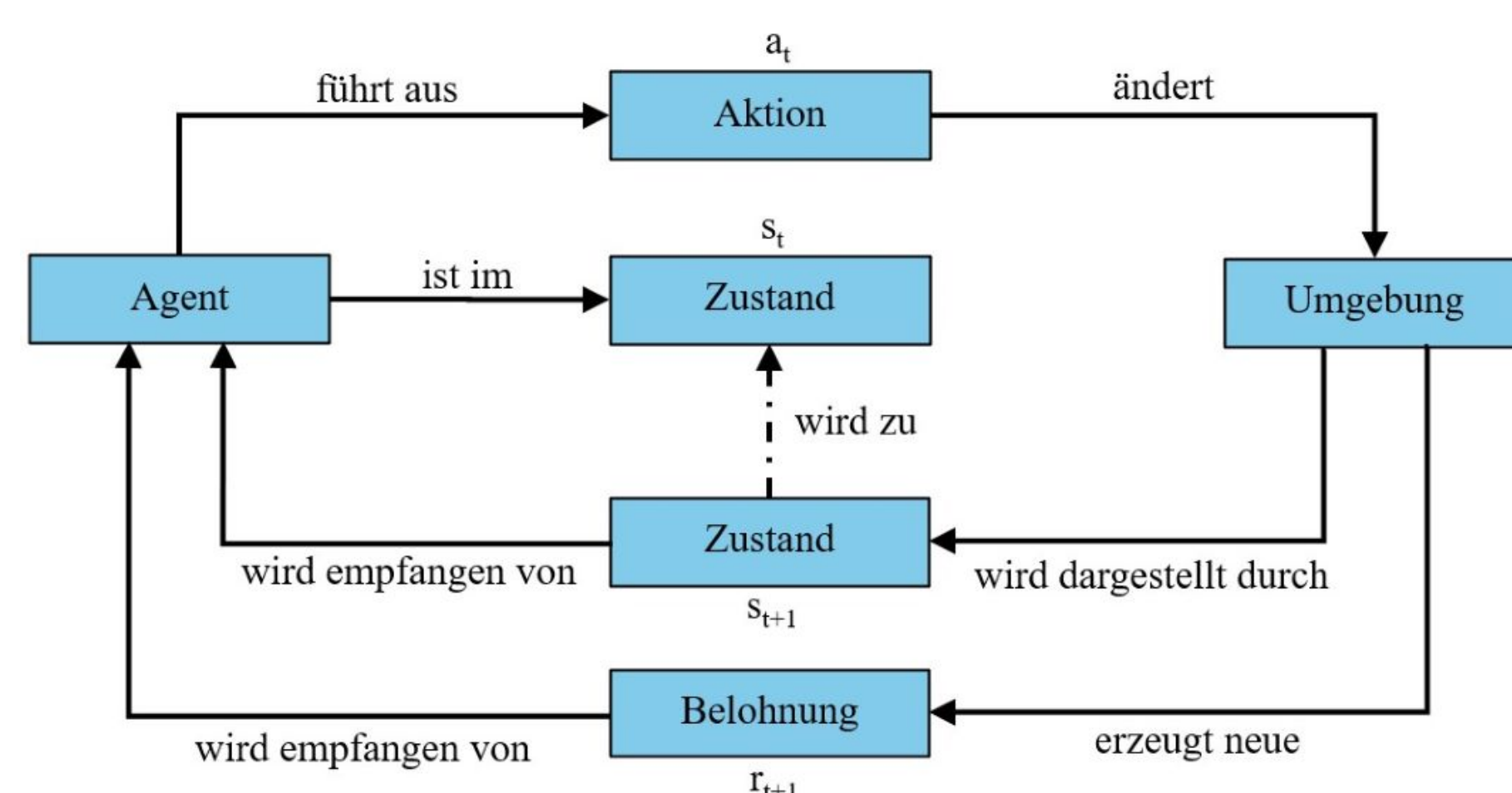


Abbildung 2: Grundlegende Funktionsweise von RL-Algorithmen

Als RL-Algorithmus wird Deep Q-Learning eingesetzt, was eine Kombination von neuronalen Netzen und Q-Learning darstellt. Zur Bestimmung der optimalen RL-Parameter wurden umfangreiche Tests durchgeführt. Als Ergebnis wurden RL-Systeme entwickelt, welche erfolgreich selbstständig das Lösen unterschiedlich komplexer Labyrinthe erlernt haben. Des Weiteren wurde eine Anwendung mit benutzerfreundlicher grafischer Oberfläche erstellt, die eine Parametrierung des Trainings

bzw. der Evaluierung erlaubt, indem beispielsweise die Spielplatte, die Umgebung (physisch oder virtuell) sowie Parameter des neuronalen Netzes oder des Agenten individuell angepasst werden können.

Physischer Demonstrator

Der Demonstrator basiert auf einem BRIO-Labyrinth, welches um Motoren und eine Kamera erweitert wurde. Die derzeitige Kamera soll in naher Zukunft durch eine hochwertige Industriekamera ersetzt werden.

Die Motorenanbringung erfolgt mit Hilfe eines Klemmprinzips. Zudem dienen Riemen zur Übertragung der Rotationsbewegung. Auf diese Weise konnte ein invasiver Eingriff am Spiel vermieden werden. Mit Hilfe eines Kamera-Systems und Bildverarbeitung wurde eine Grundlage zur Zustandserfassung geschaffen. Dabei wird unter der Verwendung von OpenCV eine Farbfilterung durchgeführt, wobei die Kugel eine gewisse Rundheit und einen gewissen Größenbereich aufweisen muss. Außerdem wurden zwei eigens designte Spielplatten realisiert.

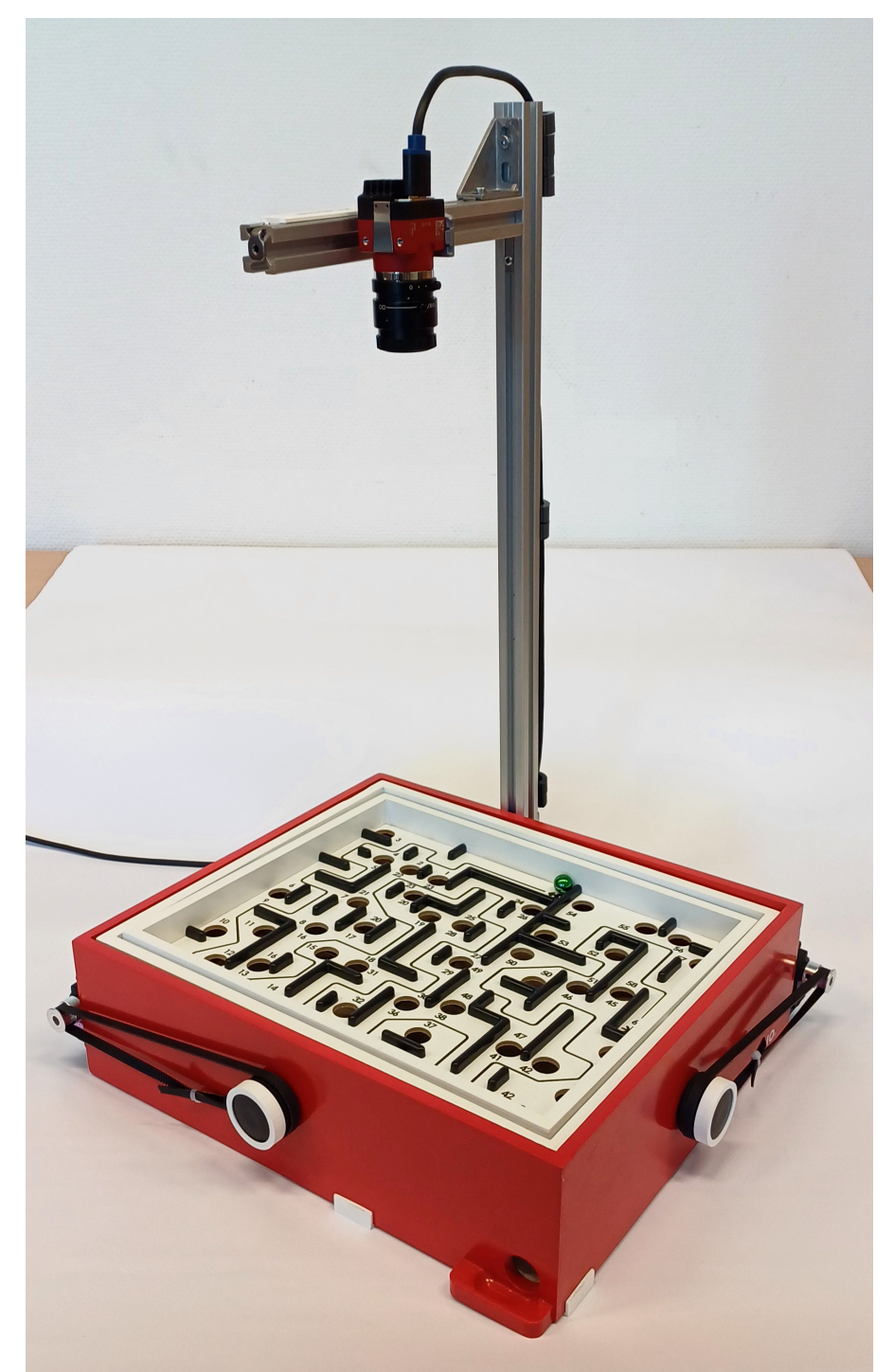


Abbildung 3: Demonstrator

Themen für weitere Arbeiten

Die entwickelten Systeme bieten eine hervorragende Plattform für zukünftige Weiterentwicklungen. Potenzielle Anwendungsbereiche bzw. Folgearbeiten umfassen insbesondere die Bildverarbeitung, den Einsatz alternativer RL-Methoden sowie die Generalisierung auf das Lösen beliebiger Labyrinthe:

- Erfassen der physischen Umgebung mittels Bildverarbeitung
- Transfer der KI von virtueller auf physische Umgebung
- Generalisierung auf unbekannte Labyrinthe (z. B. Linien folgen)

Öffentliche Dateien im Internet

Quelltexte, trainierte Modelle, 3D-Druckdateien usw. werden auf der verlinkten Seite öffentlich zur Verfügung gestellt.



Förderer

Wir danken Allied Vision Technologies GmbH, Ahrensburg, für die zur Verfügung gestellten Industriekameras sowie Kowa Optimed Deutschland GmbH entsprechend für Objektive. Diese wertvolle Unterstützung hilft uns, die nächsten Schritte in Richtung eines automatisierten physischen Labyrinths zu unternehmen.

