

Abstraktions-basierte Verifikation von POMDPs im Motion-Planning Kontext

– Extended Abstract –

Leonore Winterer¹, Sebastian Junges², Ralf Wimmer¹, Nils Jansen³, Ufuk Topcu⁴,
Joost-Pieter Katoen², Bernd Becker²

¹ Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg im Breisgau
{ winterel | wimmer | becker }@informatik.uni-freiburg.de

² RWTH Aachen University, Aachen
{ sebastian.junges | katoen }@informatik.rwth-aachen.de

³ Radboud University, Nijmegen, Niederlande
n.jansen@science.ru.nl

⁴ The University of Texas at Austin, USA
utopcu@utexas.edu

Abstract. Wir untersuchen Pfadplanungsprobleme aus der Robotik und die Berechnung von Strategien, die beweisbare Garantien für Sicherheitseigenschaften liefern. Dabei soll ein Agent mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Zielort erreichen, ohne mit einem Hindernis zusammenzustoßen, das sich probabilistisch durch den Raum bewegt. Schwierig wird dieses Problem dadurch, dass der Agent seine Umgebung nur eingeschränkt beobachten kann. Dieses Szenario lässt sich auf natürliche Art und Weise als ein sogenannter partiell beobachtbarer Markow-Entscheidungsprozess (POMDP) modellieren. Da viele interessante Eigenschaften auf POMDPs unentscheidbar sind, beschäftigt sich die hier vorgestellte Arbeit [1] mit der Entwicklung einer spielbasierten Abstraktionsmethode, um für solche Pfadplanungsprobleme und Sicherheitseigenschaften gute Approximationen zu berechnen.

Szenario Das untersuchte Szenario beschreibt einen Agenten, der sich in einem diskretisierten, 2-dimensionalen Gitter bewegt und versucht, einen vordefinierten Zielpunkt zu erreichen. Neben festen Hindernissen (nicht betretbaren Feldern) gibt es auch einen Gegenspieler, der sich randomisiert durch das Gitter bewegt. Die Aufgabe des Agenten ist es, mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit den Zielpunkt zu erreichen, ohne auf seinen Gegenspieler zu treffen. Dabei kann der Agent nicht das ganze Gitter einsehen, sondern nimmt nur Felder in einem definierten Radius um seine eigene Position wahr, sofern sie nicht durch statische Hindernisse verdeckt sind. Deshalb ist dem Agenten die genaue Position seines Gegenspielers nicht in jedem Fall bekannt. Dieses Szenario kann als ein partiell beobachtbarer Markow-Entscheidungsprozess (POMDP) modelliert werden.

POMDPs unterscheiden sich von „normalen“ MDPs dadurch, dass Entscheidungen nicht auf der Basis des konkreten Zustands getroffen werden können, sondern nur anhand von Beobachtungen, die für mehrere Zustände gleich sein können. Aus der Folge der gemachten Beobachtungen beim

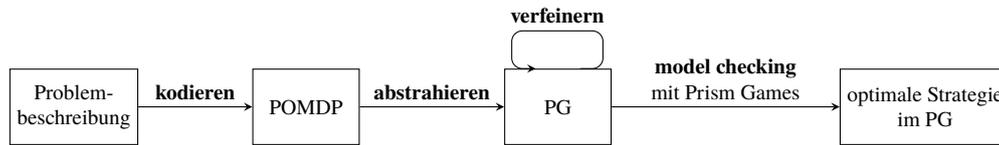


Abbildung 1: Schematische Darstellung der vorgestellten Methode

Ausführen des Systems kann somit lediglich auf die Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, sich in einem bestimmten Zustand zu befinden.

Methode Die vorgestellte Methode basiert auf der Intuition, dass die genaue Position des Gegenspielers keinen großen Einfluss auf die zu wählende Aktion hat, sofern er sich außerhalb des Sichtbereichs des Agenten befindet. Dies ausnutzend werden alle möglichen, unbeobachteten Positionen zu einem abstrakten Super-Zustand zusammengefasst. Die tatsächliche Position des Gegenspielers wird nichtdeterministisch gewählt, was zu einem probabilistischen Spiel mit zwei Spielern führt. Indem der zweite Spieler, der den künstlich eingeführten Nichtdeterminismus steuert, gegengleich zum Agenten optimiert, wird in dieser Abstraktion das tatsächlich mögliche Verhalten des Gegenspielers überapproximiert. Die Anwendung bewährter Model Checking Algorithmen für probabilistische Spiele liefert also sichere Schranken der tatsächlich erreichbaren Wahrscheinlichkeit.

Weiterhin werden verschiedene Methoden zur Verfeinerung der Abstraktion vorgestellt, mit deren Hilfe diese Schranken noch enger gefasst werden können. Einen schematischen Überblick über die vorgestellte Methode liefert Abb. 1.

Ergebnisse Mithilfe der vorgestellten Abstraktion können Gitter behandelt werden, die um das mehr als zehnfache größer sind, als sie durch Anwendung von State-of-the-Art Methoden für POMDPs untersucht werden können. Für verschiedene Gittertypen (z. B. mit und ohne statische Hindernisse) kann gezeigt werden, dass die berechnete Schranke nahe an der tatsächlich erreichbaren Wahrscheinlichkeit liegt. Ebenso wird gezeigt, in welchen Fällen die vorgestellten Verfeinerungsmethoden eine weitere Verbesserung der Ergebnisse bewirken können.

Fazit & Ausblick Mit Hilfe der Abstraktion können gute Näherungslösungen für bisher nicht lösbare Szenarien berechnet werden. In der Zukunft soll gezeigt werden, dass diese Methode auch für eine größere Klasse von Szenarien, etwa solche mit mehreren Agenten und/oder Gegenspielern, anwendbar ist und dass durch Verbesserung der Verfeinerungsmethoden sogar beliebige POMDPs von der vorgestellten Abstraktion profitieren können.

Literatur

- [1] Winterer, Leonore, Sebastian Junges, Ralf Wimmer, Nils Jansen, Ufuk Topcu, Joost-Pieter Katoen und Bernd Becker: *Motion Planning under Partial Observability using Game-Based Abstraction*. In: *Int'l Conf. on Decision and Control (CDC)*, Melbourne, Australien, Dezember 2017. IEEE. Als Technischer Bericht verfügbar unter <http://arxiv.org/abs/1708.04236>.