

ABSTRACT

In recent years, there has been a notable increase in the attention given to Machine Learning and Reinforcement Learning in both research and practice. In the manufacturing industry, for instance, an increasing number of approaches are being investigated with the objective of determining how artificial intelligence can be utilized to enhance efficiency and productivity. One potential area of application is the flexible control and rapid adaptation of production systems to changing conditions through Reinforcement Learning. In contrast to conventional, purely rule-based control systems, this is only possible with great effort. Digital twins are now being used in the development of production systems, allowing risks during subsequent operations to be identified and minimized at an early stage. The simulation software used for this is particularly suitable as an environment for Reinforcement Learning approaches.

Previous research has demonstrated that Reinforcement Learning with a single agent can be utilized to control gantry robots in relatively straightforward production lines. However, in more advanced production lines with multiple gantry robots, the exponentially expanding state space presents a significant challenge for the Single-Agent approach, ultimately reducing its efficiency. Furthermore, the asynchronous execution of actions with multiple agents introduces additional complexities for the Reinforcement Learning approach that require further investigation and resolution.

This thesis presents a Multi-Agent Reinforcement Learning approach in which each gantry robot is controlled by one agent. An analysis of previous research forms the basis for identifying the major challenges. Based on this, the methodology of the Multi-Agent approach is developed and explained. The effectiveness of the presented methodology is then tested and evaluated in several iterative experiments.

The experiments demonstrate the efficacy of the methodology in controlling gantry robots in a production plant. Despite training the agents independently, they learn a strategy for cooperative collaboration. The use of local state and action spaces for the respective agents has a negligible impact on the learned strategy. Additionally, it is shown that adapting the reward function of the Reinforcement Learning approach effectively compensates for inaccuracies in the simulation software.

keywords: Reinforcement Learning, Cooperative Multi-Agents, Gantry Robots, Dynamic Scheduling, Production Control

ZUSAMMENFASSUNG

In den vergangenen Jahren gewannen Machine Learning und Reinforcement Learning mehr Aufmerksamkeit in der Forschung und auch in der Praxis. So werden beispielsweise in der produzierenden Industrie vermehrt Ansätze untersucht, wie künstliche Intelligenz eingesetzt werden kann, um die Effizienz und die Produktivität zu steigern. Ein potenzielles Anwendungsgebiet ist die flexible Steuerung und schnelle Adaption von Produktionsanlagen an veränderte Bedingungen durch Reinforcement Learning. Mittels herkömmlicher rein regelbasierten Steuerungen gelingt dies nur mit großem Aufwand. Inzwischen werden bei der Entwicklung von Produktionsanlagen digitale Zwillinge eingesetzt, wodurch Risiken beim späteren Betrieb vorzeitig erkannt und minimiert werden können. Die dafür verwendete Simulationssoftware eignet sich in besonderem Maße als Environment für Reinforcement Learning Ansätze.

In vorangegangenen Forschungsarbeiten konnte nachgewiesen werden, dass Reinforcement Learning mit einem einzelnen Agenten zur Steuerung von Portalrobotern in simplen Produktionsanlagen anwendbar ist. Bei komplexeren Anlagen mit mehreren Portalrobotern führt der exponentiell wachsende Zustandsraum allerdings zu Herausforderungen für den Single-Agenten Ansatz, was die Effizienz des Ansatzes reduziert. Zudem ergeben sich durch die asynchrone Ausführung der Aktionen bei mehreren Agenten weitere Herausforderungen für den Reinforcement Learning Ansatz, die es zu bewältigen gilt.

Die vorliegende Masterarbeit präsentiert einen Multi-Agenten Reinforcement Learning Ansatz, bei dem jeder Portalroboter von einem Agenten kontrolliert wird. Die Analyse vergangener Forschungsarbeiten bildet die Grundlage für die Identifizierung der wesentlichen Herausforderungen. Davon ausgehend wird die Methodik des Multi-Agenten Ansatzes entwickelt und erläutert. Die Wirksamkeit der vorgestellten Methodik wird in mehreren iterativen Experimente getestet und bewertet.

Die durchgeführten Experimente belegen, dass die entwickelte Methodik sich erfolgreich zur Steuerung von Portalrobotern in einer Produktionsanlage eignet. Die Agenten erlernen, obwohl sie unabhängig voneinander trainiert werden, eine Strategie zur kooperativen Zusammenarbeit. Es konnte nachgewiesen werden, dass das Verwenden von lokalen Zustands- und Aktionsräumen für die jeweiligen Agenten nur marginale Auswirkungen auf die gelernte Strategie hat. Des Weiteren wurde demonstriert, dass durch Anpassen der Reward-Funktion des Reinforcement Learning Ansatzes Ungenauigkeiten in der Simulationssoftware effektiv kompensiert werden können.

Schlagwörter: Reinforcement Learning, Kooperative Multi-Agenten, Portalroboter, Dynamisches Scheduling, Produktionssteuerung