



## **IVS-Award 2020**

**mit Prämierung am 24.11.2020 / 01.12.2020 für**

### **Herrn Lars Klingel**

**für seine am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen  
und Fertigungseinrichtungen (ISW) durchgeführte Studienarbeit  
(Abgabe: 04/2020) mit dem Titel**

### **Anwendungsfallgetriebene Anforderungsanalyse an HiL- Simulationen als Reinforcement Learning Environment**

#### **Zusammenfassung**

Die manuelle Entwicklung von Steuerungscode ist zeitaufwändig und fehleranfällig. So entstehen bereits in dieser Phase der mechatronischen Systementwicklung hohe Kosten. Virtuelle Prototypen werden bisher nur zu Testzwecken, wie der Virtuellen Inbetriebnahme, nicht aber zur automatisierten Erstellung von Steuerungscode verwendet. Durch den Einsatz von maschinellem Lernen soll, unter Verwendung eines Digitalen Zwilling, die manuelle Steuerungsentwicklung automatisiert werden. Reinforcement Learning ist eine Form des maschinellen Lernens, welche durch „Trail and Error“ lernt in einem spezifischen Environment Aktionen auszuführen. An realen produktionstechnischen Systemen kann jedoch nicht effektiv durch „Trail and Error“ gelernt werden. Daher bietet es sich an, einen Digitalen Zwilling eines Produktionssystems zu verwenden. Dieser wird im späteren Verlauf zum Testen ohnehin benötigt und ist ein gutes Abbild des realen Systems. Da ein Digitaler Zwilling allerdings für den Einsatz in der Virtuellen Inbetriebnahme, in Form einer Hardware-in-the-Loop Simulation, entwickelt wurde, kann dieser nicht ohne weiteres als Reinforcement Learning Environment verwendet werden. Es fehlen Schnittstellen, sowie Berechnungen, wie beispielweise für die Belohnungsfunktion eines Environments. Um Anforderungen an ein kombiniertes AI-HiL-Werkzeug zu stellen, werden vorab Veröffentlichungen untersucht, die eine produktionstechnische Aufgabestellung in einer simulierten Umgebung lösen. In allen Umsetzungen wird als Schnittstelle zwischen dem Reinforcement Learning Algorithmus und dem Environment, der Open AI Gym Standard verwendet. Als defacto Standard in diesem Bereich, muss er in das HiL-Simulationswerkzeug integriert werden. Auf der Basis der analysierten Veröffentlichungen und der Umsetzung zweier Anwendungsfälle, dem inversen Pendel und einer Pick and Place Roboterhandhabung, können Anforderungen an das AI-HiL-Werkzeug gestellt werden. Diese Anforderungen dienen für die Konzeptionierung und Implementierung einer Schnittstelle für das AI-HiL-Werkzeug. Zusätzlich wird eine Möglichkeit vorgestellt, wie die Ergebnisse des Lernprozesses in das Softwareengineering einer Steuerung integriert werden können. Um den Einsatz der Schnittstelle zu vereinfachen, wird ein Konzept für eine Bibliothek erläutert, welches auf den in dieser Arbeit geschaffenen Grundlagen aufbaut. Die Bibliothek muss, wie das Konzept der Ergebnisüberführung, in weiteren Untersuchungen umgesetzt werden. Durch die bestehende Schnittstelle lassen sich dennoch ohne tiefgreifende Kenntnisse über Reinforcement Learning, Algorithmen zum automatisierten Erlernen von Steuerungsaufgaben anwenden.

**Schlüsselwörter:** *Maschinelles Lernen, Reinforcement Learning, Hardware-in-the-Loop Simulation, Digitaler Zwilling, AI-HiL-Werkzeug, Virtuelle Inbetriebnahme*

## Abstract

The manual development of control code is time-consuming and error-prone. This is why in that phase of mechatronic system development high costs are created. So far virtual prototypes have only been used for test purposes, such as virtual commissioning, but not for the automated generation of control code. With machine learning, the manual control development has to be automated by using a digital twin. Reinforcement Learning is a form of machine learning that learns to perform actions in a specific environment by "trail and error". On real production systems, however, learning cannot be done by "trail and error". Therefore, it is advisable to use a digital twin of a production system, because it is needed for testing later anyway and is a good model of the real system. However, since a digital twin was developed for use in virtual commissioning in the form of a hardware-in-the-loop simulation, it cannot be used as a reinforcement learning environment without further additions. There is a lack of interfaces and calculations, such as an environments reward function. In order to set requirements for a combined AI-HiL-tool, publications that solve a production-related task in a simulated environment are analyzed in advance. In all implementations, the Open AI Gym standard is used as the interface between reinforcement learning algorithm and environment. That is a defacto standard in this area and must be integrated into the HiL-simulation tool. On the basis of the analyzed publications and the implementation of two use cases, the inverse pendulum and a pick and place robot handling, requirements can be made on the AI-HiL-tool. These requirements serve for the conception and implementation of an interface for the AI-HiL tool. In addition, a possibility how the results of the learning process can be integrated into the software engineering of a controller is presented. In order to simplify the use of the interface, a concept for a library will be explained, which builds on the foundations created in this thesis. The library has to be implemented in the tool like the concept of the transfer of results in the following work. Nevertheless, the existing interface allows the application of algorithms for the automated learning of control tasks without deep knowledge of reinforcement learning.

**Key Words:** *Machine Learning, Reinforcement Learning, Hardware-in-the-Loop Simulation, Digital Twin, AI-HiL-Tool, Virtual Commissioning*