

Beschleunigung von Diskret-Ereignisorientierten Simulationsstudien unter Verwendung des DEVS-Formalismus auf HPC-Systemen

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von:

David Jammer, geboren am 27.12.1990 in Hagenow
aus Wismar

Rostock, 29. Oktober 2025

Kurzfassung

Zur Planung von Systemen in ingenieurtechnischen Aufgabenstellungen kommt vermehrt die Methode der Modellbildung und Simulation (M&S) zum Einsatz. Diese ist heute so vielseitig und komplex, dass praktisch alle Systemklassen damit abgedeckt werden können. Im Laufe von mehr als einem halben Jahrhundert haben sich die Methoden dabei auf bestimmte Anwendungsbereiche konzentriert und sich dafür spezialisiert. In der Anfangsgeschichte der M&S war das Ziel mit der Modellbildung und einzelnen Simulationsläufen bereits erreicht. Für anspruchsvolle M&S-Anwendungen wurde die jeweils leistungsstärkste verfügbare Rechentechnik eingesetzt. Daraus entstand eine eigene Community, die sich mit *High Performance Computing* (HPC) in Kombination mit Simulationstechnik beschäftigt. Heutige M&S-Anwendungen gehen über einfache Simulationen weit hinaus und stellen in der Regel komplexe simulationsbasierte Experimente mit vielen tausenden Simulationsläufen dar.

Für die Modellierung aktueller Problemstellungen werden hohe Ansprüche an die Methoden gestellt. So sollen nicht nur Aspekte einer Domäne umsetzbar sein, sondern Aspekte vieler Domänen. Dies ist zum Beispiel in der Automatisierungstechnik der Fall. Hier haben sich zwei Welten entwickelt, die sich auf der einen Seite mit der Regelungstechnik und auf der anderen Seite mit der Steuerungstechnik beschäftigen. Diese Welten sind aus Sicht der M&S in die Systemklassen kontinuierlich und diskret-ereignisorientiert unterteilt. Viele praktische Probleme beinhalten aber sowohl die Steuerungs- als auch die Regelungstechnik. Für solche kombinierten Problemstellungen werden hybride M&S-Techniken benötigt. Eine dafür inzwischen geeignete Methodik ist der *Discrete Event System Specification* (DEVS)-Formalismus von 1976, der ursprünglich nur für die diskret-ereignisorientierte Systemklasse entwickelt wurde. Im Laufe der Zeit erfuhr dieser Formalismus zahlreiche Weiterentwicklungen und kann heute für viele weitere Systemklassen verwendet werden. Die letzten Weiterentwicklungen dieses Formalismus zielten darauf ab, Komponenten mit Mealy-Verhalten besser abbilden zu können. Diese Forschungen brachten den *Revised Parallel Discrete Event System Specification* (RPDEVS)-Formalismus hervor. Im Rahmen einer kritischen Analyse wies P. Junglas allerdings nach, dass auch RPDEVS noch ernsthafte Defizite aufweist. Infolge stellt er die Theorie der *Non-Standard Analysis* (NSA) als Lösungsvorschlag zur Diskussion.

In dieser Arbeit werden zwei Problemstellungen bearbeitet. (i) Der Vorschlag von Junglas wird aufgegriffen und es wird ein vollständiger NSA-DEVS-Formalismus entwickelt. Zur Verifikation wird ein komplexes Praxisproblem aus dem Bereich der Produktionstechnik mit NSA-DEVS modelliert. (ii) Darüber hinaus werden mit diesem Modell Simulationsstudien auf einem HPC-System ausgeführt und analysiert, um zu prüfen, ob mit NSA-DEVS komplexe und hochkomplexe Simulationsexperimente auf Systemen der Klasse bis 100.000 Euro in akzeptabler Zeit durchführbar sind.

Abstract

Modeling and simulation (M&S) is a method that's being used more and more to design systems for engineering tasks. Today, it's so diverse and complex that it can cover pretty much all system classes. Over more than half a century, the methods have focused on specific areas of application and become specialized for them. In the early days of M&S, the goal was already reached with modeling and some simulation runs. For advanced M&S applications, the most powerful computing technology was used. From this, a separate community was created that deals with high-performance computing (HPC) in combination with simulation technology. Today's M&S applications go far beyond simple simulations and usually represent complex simulation-based experiments with many thousands of simulation runs.

The methods used to model current problems must meet high demands. Not only the aspects of one domain should be covered, but also those of many domains. This is the case, for example, in automation technology. Two worlds have developed here, one dealing with continuous control engineering and the other with discrete event-oriented control engineering. From the perspective of M&S, these two worlds are continuously integrated into the two system classes. However, many practical problems involve both discrete event-oriented control and continuous control approaches. Hybrid M&S methods are needed for such combined problems. One suitable methodology for this purpose is the Discrete Event System Specification (DEVS) formalism from 1976, which was originally developed only for the discrete event-oriented system class. Over time, this formalism has been developed further in numerous ways and can now be used for many other system classes. The latest developments in this formalism have been aimed at improving the representation of components with Mealy behavior. This research led to the Revised Parallel Discrete Event System Specification (RPDEVS) formalism. However, in a critical analysis, P. Junglas demonstrated that RPDEVS still has serious problems. As a result, he proposes the theory of non-standard analysis (NSA) as a possible solution.

This paper considers two topics. (i) Junglas' approach is adopted in this work, and a complete NSA-DEVS formalism is developed. For verification purposes, a complex practical problem from the field of production engineering is modeled using NSA-DEVS. (ii) In addition, simulation studies are performed and analyzed on an HPC system using this model to verify whether NSA-DEVS can be used to perform complex and highly complex simulation experiments on systems costing up to €100,000 within an acceptable time frame.