

# Ein Ansatz zur nachvollziehbaren Verifikation medizinisch-cyber-physikalischer Systeme

Julia Padberg<sup>1</sup>, Alexander Schlaefer<sup>2</sup> und Sibylle Schupp<sup>3</sup>

**Abstract:** Medizinische cyberphysikalische Systeme erfordern einerseits die Adaption an patientenindividuelle Parameter während einer Behandlung und andererseits den Nachweis eines sicheren Systemverhaltens. Wir schlagen vor, Nachweisbarkeit mittels Online Model-Checking und Nachvollziehbarkeit durch Anwendung von regelbasierten Transformationen zu verbinden.

**Keywords:** Softwaretechnik, Verifikation, Medizintechnik, MCPS, Patient-in-the-Loop, Echtzeit.

## 1 Motivation und Problemstellung

Die fortschreitende Digitalisierung im Gesundheitswesen betrifft auch Entwicklung und Einsatz technischer Assistenzsysteme, die medizinisches Personal in Diagnostik und Therapie unterstützen. Diese Systeme erreichen eine Komplexität, die für Ärzte und Ärztinnen nicht mehr nachvollziehbar ist, beispielsweise wenn adaptive, lernende Methoden zum Einsatz kommen. Zum Beispiel ändern sich Atemmuster während einer bewegungskompensierten Strahlentherapie [AR16]. Insbesondere wo Software aktiv Einfluss nimmt, wie etwa Kontrollsoftware bei "Patient-in-the-Loop"-Systemen, ist es wünschenswert, eine Methodik zu entwickeln, die Patientensicherheit nachweisbar garantiert und gleichzeitig für Entwickler und Anwender nachvollziehbar ist.

## 2 Lösungsansatz

Einen Ansatz zur Verifikation des Systemverhaltens in Echtzeit bietet das Online Model-Checking (OMC), das auch für unvollständig modellierte und adaptive Systeme Abweichungen vom erwarteten Verhalten nachweisen kann. Im Kontext medizintechnischer Systeme ist dadurch beispielsweise der Abbruch der Behandlung möglich, bevor Schäden verursacht werden [AR16]. Adaption an das Patientenverhalten ist ebenfalls möglich, typischerweise aber nicht explizit gegeben und kann somit von klinischen Anwendern nicht nachvollzogen werden. Regelbasierte Transformation [PS16] andererseits kann den Adaptionsschritt des OMC so – und in einer Sprache – explizieren, dass er für das Fachpersonal nachvollziehbar wird.

---

<sup>1</sup> HAW Hamburg, Department Informatik, Berliner Tor 7, 20099 Hamburg, julia.padberg@haw-hamburg.de

<sup>2</sup> TUHH, Institut für Medizintechnische Systeme, 21073 Hamburg, schlaefer@tuhh.de

<sup>3</sup> TUHH, Institut für Softwaresysteme, 21073 Hamburg, schupp@tuhh.de

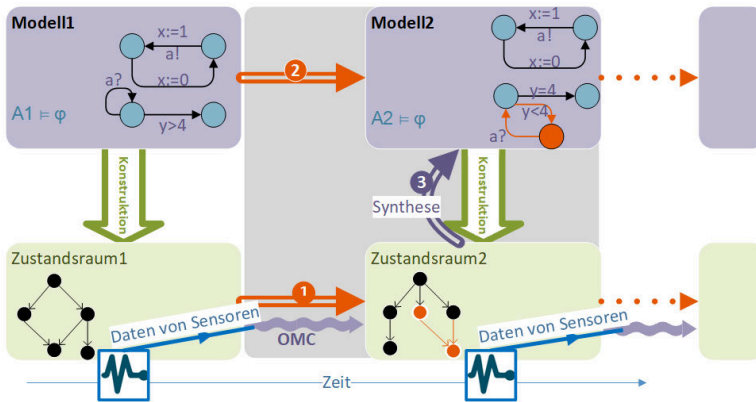


Abb. 1: Methodische Basis.

Abb.1 stellt das Ineinandergreifen von Verifikation und regelbasierter Transformation dar. Online Model-Checking verwendet ein partielles Modell (Modell1, links) und vergleicht die entlang der Zeitachse erfassten Daten mit dem daraus erzeugten Zustandsraum. Der grau hinterlegte Teil veranschaulicht den neuen Ansatz einer Adaption des Modells (Modell2, rechts), der den Adaptionsschritt des OMC durch die Anwendung von Regeln ergänzt (① in Abb. 1). Diese Regeln transformieren den Zustandsraum entsprechend der erhaltenen Daten und repräsentieren so die Änderungen, die sich durch die aktuellen Sensorwerte ergeben. Die Regeln zur Transformation des Zustandsraumes sind koordiniert mit denen der Modelltransformation (② in Abb. 1). Um eine Überanpassung der Modelle zu vermeiden, werden diese Modelltransformationen, die das spezifische Domänenwissen über medizinisch plausible Modelle abstrahieren, festgelegt. Die Synthese (③ in Abb. 1) wird unterstützt durch Techniken des Process-Mining einerseits und die koordinierten Regeln andererseits. Die Verifikation selbst wird abgeschlossen mit einer Prädiktion, die bestimmt, wie lange Sicherheitsgarantien gegeben werden können.

In OMC werden Eigenschaften des Gesamtsystems als wiederholte Nachweise über Teilsysteme des fortlaufend angepassten Gesamtsystems erbracht. Die explizite Modelltransformation erlaubt Simulationen, die dem Fachpersonal das Nachvollziehen der Verifikation ermöglichen.

## Literaturverzeichnis

- [AR16] Antoni,S.-T.; Rinast,J; Ma,X; Schupp S; Schlaefer, A.: Online model checking for monitoring surrogate-based respiratory motion tracking in radiation therapy. Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Bd. 11, pp. 2085-2096, 2016.
- [PS16] Padberg J; Schulz, A.: Model Checking Reconfigurable Petri Nets with Maude, in Graph Transformation, 9th Int. Conf. on, LNCS, Bd. 9761, Springer, pp. 54-70, 2016.