

# Autonome und kooperative Steuerung von vernetzten ereignisdiskreten Systemen

Markus Zgorzelski

Die vorliegende Doktorarbeit betrachtet vernetzte ereignisdiskrete Systeme. Das Gesamtsystem besteht aus einem Netzwerk von Teilsystemen, die aus einem technischen Prozess und einer lokale Steuerung bestehen. Diese Teilsysteme sind über physikalische Kopplungen und digitale Kommunikationsverbindungen untereinander verbunden. Eine wichtige Eigenschaft von vernetzten ereignisdiskreten Systemen ist die weitgehende Autonomie der Teilsysteme und eine flache Architektur, die keinen Koordinator enthält.

Die Autonomie der Teilsysteme spiegelt sich darin wider, dass jedes Teilsystem eigene lokale Aufgaben in beliebiger Reihenfolge selbständig lösen kann. Eine Kooperation zwischen den Teilsystemen wird erst dann erforderlich, wenn dies physikalische Kopplungen oder gemeinsame Steuerungsspezifikationen notwendig machen, die in Abhängigkeit von den lokalen Aufgaben auftreten. Die Teilsysteme wechseln dann zwischen einem autonomen und einen kooperativen Modus. Einerseits können die Teilsysteme die meisten ihrer lokalen Aufgaben alleine und ohne eine Kooperation erledigen. Andererseits können die Teilsysteme gemeinsam unter dem Einsatz des Kommunikationsnetzes kooperieren, wenn es die lokalen Aufgaben notwendig machen. In diesen Situation müssen die Teilsysteme das Kommunikationsnetz einsetzen und Informationen untereinander austauschen.

Diese Doktorarbeit befasst sich mit der *kooperativen Zielzustandssteuerung* von ereignisdiskreten Systemen. Das Gesamtsystem wird durch erweiterte Eingangs/Ausgangs Automaten mit diskreten Zuständen modelliert. Die lokalen Aufgaben werden durch lokale Zielzustände modelliert, die durch die Teilsysteme erreicht werden sollen, und die kooperativen Aufgaben werden durch synchrone Zustandsübergänge zwischen den Teilsystemen modelliert. Um die lokalen Aufgaben zu erfüllen, müssen die Teilsysteme lokale Zustandsfolgen in die Zielzustände ausführen. Wenn einer dieser lokalen Zustandsfolgen einen synchronen Zustandsübergang enthält, muss dieser gemeinsam mit den entsprechenden Teilsystemen ausgeführt werden, um den gewünschten Zielzustand zu erreichen. Um Folgen von unterschiedlichen synchronen Zustandsübergängen zwischen den Teilsystemen auszuführen, müssen die Teilsysteme eine blockierungsfreie Folge von synchronen Zustandsübergängen mit Hilfe von Kommunikation finden.

Das Hauptergebnis dieser Doktorarbeit besteht in der Realisierung der autonomen und kooperativen Aufgaben, sowie der Lösung des kooperativen Zielzustandfolgeproblems. Um die Teilsysteme zu befähigen eine blockierungsfreie Folge von synchronen Zustandsübergängen zu finden, wird das Modell des Gesamtsystems benötigt. Da allerdings die Modellinformationen zwischen den Teilsystemen verteilt sind und die Komposition des Gesamtmodells zu einer bekannten *Zustandsraumexplosion* führt, kommunizieren die Teilsysteme nur die notwendigen Informationen untereinander. Die Lösung des kooperativen Zielzustandfolgeproblems wird mit Hilfe eines abstrahierten Gesamtmodells erzielt, das nur das notwendige kooperative Verhalten zwischen den Teilsystemen beschreibt. Dieses abstrahierte Gesamtmodell wird mit einer neuen kompositionellen Modellbildungsmethode erstellt.

Zur Lösung des kooperativen Zielzustandfolgeproblems werden neue Netzwerkeinheiten entworfen, die die Teilsysteme untereinander digital vernetzen und die abstrahierten Modellinformationen nutzen, um die blockierungsfreie Folgen von synchronen Zustandsübergängen zu bestimmen und auszuführen. Anhand einer experimentellen Erprobung an einer realen Versuchsanlage HANS wird demonstriert, dass sich die in dieser Arbeit entworfenen Methode auf die Anwendung an reale Anlagen eignet.