

University of Groningen

Compositional analysis and control of dynamical systems

Kerber, Florian Josef

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2011

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Kerber, F. J. (2011). *Compositional analysis and control of dynamical systems*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Zusammenfassung

Im Bereich der formalen Verifikation von Softwareprogrammen finden kompositionelle Analysemethoden häufig Anwendung. Parallele, d. h. nebenläufig ausgeführte Prozesse führen in ihrer Verknüpfung zu einem hochkomplexen Gesamtsystem, da die Dimension des Beschreibungsraumes exponentiell mit der Anzahl der Prozesse wächst. Auch Modelle technischer Prozesse weisen in der Praxis eine hohe Komplexität auf. Die Gründe hierfür sind gleichermaßen strukturell bedingt, da ein kompletter Prozess oft nur als Produkt gekoppelter Teilsysteme beschreibbar ist. Ziel dieser Arbeit ist es, Methoden und formale Konzepte, die in der theoretischen Informatik für die Analyse paralleler Programme entwickelt wurden, auf dynamische Systeme, wie sie in der Systemtheorie und Regelungstechnik vorkommen, zu übertragen und dadurch regelungstechnische Probleme effizienter lösen zu können.

Kapitel 3 befasst sich mit Deduktionsverfahren für lineare zeitkontinuierliche Systeme auf der Basis von Simulationsrelationen. Als ein zentrales Ergebnis dieser Arbeit weisen wir in diesem Kapitel nach, dass zirkelschlüssiges "assume-guarantee reasoning" logisch korrekt und komplett ist für durch Rückkoppelung verbundene Systeme. Dieses Resultat lässt sich sowohl auf andere Verknüpfungstypen wie das parallele Produkt zweier Systeme als auch auf Verknüpfungen von mehr als zwei Systemen übertragen. Darüber hinaus gelten die Deduktionsverfahren auch, wenn Simulation durch Bimulation ersetzt wird. Zusammengenommen ergeben diese Ergebnisse eine vollständige Theorie kompositioneller Analysemethoden für lineare Systeme. Anhand des Beispiels geregelter elektrischer Schaltkreise lässt sich die praktische Relevanz dieser Theorie illustrieren, wobei die Bedeutung von Simulationsrelationen für die Abstraktion von dynamischen Systemen ebenfalls veranschaulicht wird. Die Verallgemeinerung der Theorie hin zu nichtlinearen Systemen ist größtenteils möglich, wie Kapitel 4 zeigt. Jedoch sind zusätzliche Annahmen nötig, um zu garantieren, dass die nichtlinearen Simulationsrelationen die differentialgeometrischen Eigenschaften von Untermannigfaltigkeiten besitzen. Dies ist insbesondere für den Beweis erforderlich, dass nichtlineare Simulation eine Quasiordnung darstellt wie auch dafür, dass "assume-guarantee reasoning" logisch korrekt ist. Nichtlineare Simulationsrelationen als Grundlage kompositioneller Analyseverfahren finden in Kapitel 5 eine direkte Anwendung im Bereich der Passivitätstheorie. Voraussetzung dafür ist die Erkenntnis, dass die Eigenschaft eines Systems, passiv zu sein, gleichsam durch eine volle nichtlineare Simulationsrelation

zwischen dem System selbst und dem sich aus der differentiellen Dissipativitätsungleichung ergebenden eindimensionalen System beschrieben werden kann. Der klassische Satz, dass die Verknüpfung zweier passiver Systeme durch negative Rückkopplung wiederum passiv ist, kann so neu interpretiert werden als Kompositionalität von Passivität. Weitere Ergebnisse lassen sich mit Hilfe der Theorie der vorangegangenen Kapitel direkt ableiten, z.B. gilt für offene negative Rückkopplungen auch die Umkehrung des klassischen Passivitätstheorems. Stabilitätseigenschaften linearer und nichtlinearer Systeme können auf diese Weise ebenfalls behandelt werden, da passive Systeme auch stabil sind, wenn die Speicherfunktion ein lokales Minimum im Gleichgewichtspunkt besitzt. Kapitel 5 zeigt somit auf, wie Eigenschaften komplexer Regelsysteme mit kompositionellen Methoden systematisch und effizient überprüft werden können.

Dezentrale Regelung und kompositionelle Analyse beruhen auf demselben Prinzip, dass eine *globale* Aufgabe (auf der Ebene des Gesamtsystems) in mehrere *lokale* Aufgaben (auf der Ebene von Teilsystemen) aufgeteilt wird. In Kapitel 6 nutzen wir dieses Vorgehen, um eine globale Reglerspezifikation mit einem dezentralen Regelungskonzept zu erfüllen. Zu diesem Zweck werden zuerst die kompositionellen Deduktionsverfahren an das dezentrale Regelungsszenario angepasst. Zusammen mit Bedingungen, die die Erreichbarkeit eines Regelungszieles für ein gegebenes Streckenmodell charakterisieren, entwerfen wir zwei *bottom-up* (von lokalen Bedingungen zur globalen Spezifikation) und ein *top-down* (von der globalen Bedingung zur dezentralen Regelung) Verfahren. Letzteres kann so interpretiert werden, dass in dem gegebenen Szenario die Existenz eines globalen Reglers immer die Existenz lokaler Regler impliziert, die dieselbe Spezifikation erfüllen können.

Die letzten beiden Kapitel befassen sich mit der Analyse hybrider Systeme, genauer gesagt konzentrieren wir uns auf die praxisrelevante Untergruppierung der sogenannten geschalteten linearen Systeme ("switching linear systems"). Hybride Systeme verbinden Elemente zeitkontinuierlicher und zeitdiskreter Dynamik miteinander, was sie zu einem interdisziplinären Forschungsgegenstand macht. Dem Motiv dieser Arbeit folgend vereint unser Ansatz eine in der Systemtheorie gängige Repräsentationsform – die Beschreibung der zeitkontinuierlichen Dynamik durch Differentialgleichung statt durch Lösungskurven – mit Analysemethoden für Transitionssysteme, die traditionell in der formellen Verifikation Anwendung finden. Der Vorteil dieser Herangehensweise liegt darin, dass strukturelle (Bi)simulationsrelationen angewandt werden können. Dadurch lässt sich auf einfachere Weise zeigen, dass die in den vorangehenden Kapiteln gebrauchten Deduktionsverfahren auch für geschaltete lineare Systeme anwendbar sind. Zum Schluss betrachten wir geschaltete lineare Systeme mit Stelleninvarianten, welche einen zusätzlichen Schwierigkeitsgrad darstellen. Diese bewirken nämlich, dass neben dem Einfluss der zeitdiskreten auf die zeitkontinuierliche Dynamik auch ein umgekehrter Einfluss besteht, wenn nämlich

eine Transition zu einer anderen Stelle durch das Erreichen bzw. bevorstehende Verletzen der momentanen Stelleninvarianten ausgelöst wird. In einem ersten Schritt beschränken wir uns deshalb auf den zeitkontinuierlichen Part der hybriden Dynamik von geschalteten linearen Systemen mit Stelleninvarianten, um eine Bisimulationstheorie für lineare Systeme mit Ungleichungszwangsbedingungen zu entwerfen. Darauf aufbauend lässt sich die strukturelle Variante einer Bisimulationsrelation ableiten. Diese hat das Potential, auch bei anderen Klassen hybrider Systeme anwendbar zu sein und stellt damit einen wichtigen Schritt zur Entwicklung kompositioneller Analyseverfahren für hybride Systeme dar.