

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.*

# Samenvatting

Op het gebied van programmacorrectheid wordt vaak gebruik gemaakt van compositionele analyse-technieken. Het analyseren van individuele processen helpt om de complexiteit van het geheel veroorzaakt door de koppeling van concurrente processen tegen te gaan. In gelijke mate vertonen technische processen een hoge complexiteit. De structurering in deelsystemen laat een wiskundige modellering toe, maar heeft vaak toestandsexplosie tot gevolg. Het doel van dit proefschrift is om compositionele methodes afkomstig uit de theoretische informatica over te dragen op en bruikbaar te maken voor de analyse van dynamische systemen zoals bekend in de regel- en systeemtheorie.

In Hoofdstuk 3 worden redeneermethodes voor lineaire systemen op basis van simulaties bestudeerd. Een belangrijk resultaat van dit proefschrift is dat circulair “assume-garantee” redeneren logisch correct en compleet is voor feedbackinterconnecties van lineaire tijd-continue systemen. Deze conclusie geldt ook zowel voor andere types van interconnecties zoals het parallele product, als voor feedback interconnecties van meer dan twee deelsystemen. Bovendien zijn de redeneermethodes ook correct als bisimulaties in plaats van simulaties worden gebruikt. Deze resultaten leiden tot een volledige theorie van compositionele analysemethoden voor lineaire systemen. De praktische relevantie wordt door een voorbeeld over elektrische circuits aangetoond, waarbij we regelsystemen middels simulatierelaties abstraheren. In Hoofdstuk 4 onderzoeken wij of deze resultaten tot niet-lineaire systemen kunnen worden veralgemeend. Omdat niet-lineaire simulaties op deelvariëteiten gedefinieerd zijn dienen extra constante rang condities verfuld te worden. Deze rang condities zijn onder meer noodzakelijk voor het bewijs dat niet-lineaire simulatie een preorde is. In Hoofdstuk 5 worden niet-lineaire simulaties gebruikt om passiviteitseigenschappen te onderzoeken. Deze op het principe van “model checking” lijkende toepassing is mogelijk omdat passiviteit als een simulatie tussen het bewuste systeem en één gegeneraliseerd een-dimensioneel dynamisch systeem afgeleid uit de differentiele dissipativiteitsongelijkheid kan worden beschreven. De klassieke stelling dat de feedbackinterconnectie van twee passieve systemen zelf weer passief is kan op deze manier als compositionaliteit van passiviteit worden hergeïnterpreteerd. Compositioneel redeneren levert nog meer resultaten op; zo geldt bijvoorbeeld ook de omkering van de passiviteitsstelling en laat zich daaruit informatie over de structuur van de opslagfunctie afleiden. Ook kunnen

stabiliteitseigenschappen van lineaire en niet-lineaire systemen op deze manier bestudeerd worden omdat een passief systeem stabiel is indien de opslagfunctie een lokaal minimum in het evenwichtspunt heeft. Hoofdstuk 5 is exemplarisch voor de manier waarop eigenschappen van complexe regelsystemen met behulp van compositioneel redeneren efficiënt kunnen worden bepaald.

Gedecentraliseerde regeling berust op het zelfde principe als compositionele analyse methodes, te weten de splitsing van een *globaal* probleem (voor het gehele systeem) in meerdere *locale* problemen (voor de deelsystemen). In Hoofdstuk 6 onderzoeken wij hoe een globaal regelprobleem door gedecentraliseerde regelaars kan worden opgelost. In de eerste stap passen wij compositioneel redeneren op het gedecentraliseerde scenario toe. Gecombineerd met condities voor het bestaan van een regelaar zodat het geregelde systeem aan de gegeven specificatie voldoet ontwerpen wij daarna twee bottom-up (van locale condities naar de globale specificatie) en een top-down (van een globale conditie tot gedecentraliseerde regelaars) procedure voor de gedecentraliseerde regeling van lineaire systemen.

De laatste twee hoofdstukken behandelen hybride systemen gegeven als schakelende lineaire systemen ("switching linear systems"). Hybride systemen verenigen kenmerken van discrete en continue dynamica en kunnen daarom interdisciplinair worden onderzocht. Zoals in de voorafgaande hoofdstukken van dit proefschrift benaderen wij schakelende lineaire systemen door het toepassen van structurele technieken (ontleend aan de theoretische informatica) op differentiaalvergelijkingen (de gebruikelijke representatievorm voor dynamische systemen in de regel- en systeemtheorie in tegenstelling tot oplossingen van het systeem). Het voordeel van dit aanpak is dat structurele (bi)simulaties kunnen worden gebruikt. Daardoor vereenvoudigt het bewijs dat compositioneel redeneren ook voor schakelende lineaire systemen correct is. Tenslotte voegen we aan de definitie invarianten voor de continue dynamica toe. Dit heeft een wederzijdse invloed van continue en discrete dynamica tot gevolg, hetgeen de moeilijkheidsgraad aanzienlijk verhoogt. In eerste instantie onderzoeken wij alleen de continue dynamica, die gegeven wordt door lineaire systemen met ongelijkheidsnevenvoorwaarden. Met behulp van het lemma van Farkas karakteriseren wij bisimulaties voor dit soort systemen. Daarop voortbouwend kan een structurele notie van (bi)simulaties voor schakelende lineaire systemen met invarianten worden geformuleerd. Deze is ook op gegeneraliseerde hybride systemen toepasbaar, en maakt daarmee een belangrijke stap in de ontwikkeling van compositionele methodes voor hybride systemen.