

Sebastian Pröll

## A comprehensive diagnostic method for linear time-invariant and switched systems

Eine umfassende Diagnosemethode für  
lineare zeitinvariante und geschaltete Systeme

### Kurzfassung

Die Komplexität und der Automatisierungsgrad gegenwärtiger mechatronischer Systeme erfordern eine Überwachung der ordnungsgemäßen Funktion solcher Anlagen. Diagnosealgorithmen, die auf elektronischen Steuergeräten mithilfe von Sensoren das aktuelle Verhalten des Systems überprüfen und Fehlverhalten erkennen, erfüllen diese Aufgabe. Bei der modellbasierten Diagnose nutzt man zusätzlich zu den bekannten Eingangs- und Ausgangsgrößen ein analytisches Modell des Systems, um Fehler zu erkennen. In der vorliegenden Dissertation wird ein Entwurfsverfahren für modellbasierte Diagnosealgorithmen entwickelt.

Um ein System diagnostizieren zu können, benötigt man redundante Informationen über das System, welche einerseits durch das Modell und andererseits durch Sensorinformationen gegeben sind. In einer strukturellen Diagnostizierbarkeitsanalyse untersucht man mithilfe von bipartiten Graphen das Modell auf Redundanzen und erhält als Ergebnis überbestimmte Teilmodelle, die es theoretisch erlauben, Fehler in den entsprechenden Teilsystemen zu erkennen und voneinander zu unterscheiden.

Den Kern einer praktisch anwendbaren Diagnoseeinheit bilden sogenannte Residuen. Über diese im Betrieb des Systems kontinuierlich berechneten Vergleichswerte kann eine Abweichung zwischen Modell- und Systemverhalten erkannt werden. Ein verbreiteter Ansatz, um Residuen zu berechnen, basiert auf Zustandsbeobachtern, bei denen zunächst der innere Zustand des Systems geschätzt und anschließend die Ausgangsgröße aus der Schätzung berechnet und mit der Messung verglichen wird. Damit ein Beobachter für ein gegebenes System existieren kann, muss das System gewisse Eigenschaften erfüllen, die man unter dem Begriff Beobachtbarkeit zusammenfasst. Beobachtbarkeit eines Systems kann man mittels graphentheoretischer Methoden analysieren, wofür klassischerweise gerichtete Graphen verwendet werden.

In der Arbeit wird ein Zusammenhang zwischen der strukturellen Diagnostizierbarkeitsanalyse und der strukturellen Beobachtbarkeitsanalyse eines Systems aufgezeigt. Ausgehend von jeweils in der Literatur verbreiteten Definitionen von Diagnostizierbarkeit und Beobachtbarkeit wird für lineare zeitinvariante Systeme bewiesen, dass die Diagnostizierbarkeit notwendig für die Beobachtbarkeit eines Systems ist und es wird ein Kriterium für strukturelle Beobachtbarkeit anhand von bipartiten Graphen formuliert. Das Ergebnis wird genutzt, um die Lücke zwischen der Diagnostizierbarkeitsanalyse und dem Entwurf einer Diagnoseeinheit zu schließen, so dass eine umfassende Diagnosemethode präsentiert werden kann.

Weiterhin zeigt sich, dass eine Diagnostizierbarkeitsanalyse im Allgemeinen auf Teilsysteme mit unbekanntem Eingängen führt. Soll für ein solches System ein beobachterbasiertes Residuum berechnet werden, muss das System strukturell streng beobachtbar sein. In der Arbeit wird ein graphentheoretisches Kriterium für diese Eigenschaft hergeleitet, welches auf bipartiten und gerichteten Graphen basiert. Die umfassende Diagnosemethode kann dadurch erweitert werden, dass nun alle strukturell (streng) beobachtbaren Teilsysteme innerhalb eines Modells identifiziert werden.

Schließlich werden die bekannten Methoden zur strukturellen Diagnostizierbarkeitsanalyse für geschaltete Systeme erweitert und es wird ein effizienter Ansatz vorgestellt, mit dem überbestimmte Teilmodelle in allen Modi eines geschalteten Systems identifiziert werden können. Außerdem wird gezeigt, wie man mit diskreten Fehlern, die für geschaltete Systeme typisch sind, in einer solchen Analyse umgeht und jene anhand der vorgeschlagenen Diagnosemethode erkennt. Alle Resultate werden am Beispiel eines Viertanksystems in Simulationen veranschaulicht.