

Jan Lunze

Graphentheoretische Methoden der Regelungstechnik

Strukturelle Regelungstheorie

Bayesnetze für die Prozessdiagnose

Systemanalyse mit bipartiten Graphen

mit 74 Abbildungen, 24 Beispielen und 11 Übungsaufgaben

Vorwort

Viele regelungstechnische Fragestellungen kann man vereinfachen, wenn man sich zunächst die Struktur der betrachteten dynamischen Systeme ansieht. Dabei reduziert man die durch lineare oder nichtlineare Gleichungen beschriebenen Zusammenhänge auf graphisch dargestellte Ursache-Wirkungsbeziehungen, bei denen nur erfasst wird, welche Signale und Parameter in einem direkten Zusammenhang stehen. Durch eine Analyse der entsprechenden Strukturgraphen wird beispielsweise offensichtlich, ob die interessierenden Eigenschaften eines Systems vorhanden sind, ob Entwurfsaufgaben zweckmäßig gestellt sind oder ob Veränderungen der Stell- oder Messgrößenauswahl auf eine Vereinfachung von Überwachungs- oder Steuerungsaufgaben führen.

Im ersten Teil behandelt das Buch Methoden zur Analyse gerichteter Graphen und zeigt deren Anwendung für die Gestaltung von Regelkreisen. Im Mittelpunkt stehen systemdynamische Phänomene, die sich auf die Verkopplungsstruktur der Signale beziehen und die von den Systemparametern weitgehend unabhängig sind. Grundlegende Eigenschaften dynamischer Systeme wie die Steuerbarkeit und die Beobachtbarkeit werden anhand von Strukturgraphen analysiert. Es wird gezeigt, für welche systemdynamischen Aussagen die Kenntnisse des Strukturgraphen ausreichen und wo bei diesen Aufgabenstellungen die Grenzen der graphentheoretischen Analyse liegen.

Im zweiten Teil wird mit einer Einführung in die Theorie der Bayesnetze eine Verbindung zwischen der Graphentheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung hergestellt. Die grafisch dargestellte bedingte stochastische Unabhängigkeit von Ereignissen bildet die Grundlage für die modulare Repräsentation und Verarbeitung unsicheren Wissens, wie es für Vorhersageaufgaben und die Fehlerdiagnose typisch ist. Anschließend wird gezeigt, wie dynamische Systeme durch bipartite Graphen (Graphen mit zwei Klassen von Knoten) repräsentiert und mit dieser Beschreibungsform analysiert werden können. Für die Vorhersage des Systemverhaltens und die Fehlerdiagnose führen die behandelten Methoden auf systematische Wege, auf denen durch die Kombination der Modellgleichungen Ausdrücke für die Ausgangsgrößen des Systems bzw. für Residuen für die Fehlerdetektion abgeleitet werden können.

Obwohl strukturelle Methoden wichtige Werkzeuge des Ingenieurs darstellen, werden sie in Vorlesungen und Lehrbüchern stiefmütterlich behandelt. Es gibt keine ausführliche Einführung, die die gemeinsamen Grundlagen graphentheoretischer Verfahren in unterschiedlichen Gebieten der Regelungstechnik einheitlich darstellt. Ziel dieses Buches ist es, Analyseverfahren der Systemtheorie, der Fehlerdiagnose und der Künstlichen Intelligenz zusammenzuführen. Die Methoden sind nicht neu, auch ihre Darstellungen nicht, aber die Zusammenführung der in unterschiedlichen Gebieten mit gleicher oder ähnlicher Grundlage verwendeten Methoden erscheint aufgrund ihrer Bedeutung für die ingenieurtechnische Praxis geboten und sinnvoll.

Quellen. Das Buch enthält eine Zusammenstellung von Ausschnitten aus meinen Lehrbüchern [3, 4, 7]¹ sowie aus der Monografie [8], die im ersten Teil um wichtige Ergebnisse der strukturellen Regelungstheorie aus [5, 6] erweitert wurde. Ergänzende graphentheoretische Methoden zu diesem Gebiet sind in [1, 2] zu finden. Für den zweiten Teil werden als weiterführende Literatur [1, 4, 5, 7] für Bayesnetze und [1] für bipartite Graphen empfohlen. Die Darstellung sowie die Beispiele und Aufgaben wurden so überarbeitet und erweitert, dass sie als selbstständige Einführung in die Thematik, auch im Selbststudium, verständlich sind.

Das Buch entstand aus Tutorien, die ich mehrfach in der Industrie gehalten habe. Es zeigte sich, dass man die strukturellen Methoden aufgrund ihrer graphentheoretischen Grundlage und damit verbundenen grafisch intuitiven Darstellung einem breiten Interessentenkreis zugänglich machen kann. Diesem Ziel dient auch dieses Buch.

Münster, 27. Januar 2019

JAN LUNZE

¹ siehe Literaturverzeichnis auf S. 3