

Jan Lunze

Ereignisdiskrete Systeme

Modellierung und Analyse dynamischer Systeme mit Automaten,
Markovketten und Petrinetzen

3., überarbeitete Auflage

mit 397 Abbildungen, 96 Anwendungsbeispielen
und 140 Übungsaufgaben

DE GRUYTER
OLDENBOURG

Autor

Prof. Dr.-Ing. Jan Lunze

Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Automatisierungstechnik und Prozessinformatik

44780 Bochum

email: Lunze@atp.rub.de

MATLAB ist eingetragenes Warenzeichen der Fa. The MathWorks, Inc.

Vorwort

Dieses Lehrbuch gibt eine Einführung in die Beschreibung und Analyse ereignisdiskreter Systeme. Es zeigt, wie man dynamische Systeme mit wertdiskreten Signalen durch Automaten, Markovketten und Petrinetze darstellen und analysieren kann. Die behandelten Modellformen bilden die Grundlage für vielfältige Beschreibungsmittel, die heute in der Elektronik für die Spezifikation und die Modellierung von Schaltkreisen, in der Automatisierungstechnik für die Analyse diskreter Systeme und den Steuerungsentwurf oder in der Informatik für die Definition von Berechnungsmodellen und die Analyse und Übersetzung von Programmen eingesetzt werden. Beispiele aus den genannten sowie weiteren Gebieten zeigen das breite Anwendungsfeld der hier behandelten Modelle und Methoden.

Mit der fachübergreifenden Darstellung der Theorie ereignisdiskreter Systeme ist dies – zumindest im deutschsprachigen Bereich – das erste Lehrbuch, das alle grundlegenden Phänomene und Eigenschaften der ereignisdiskreten Dynamik unabhängig vom Anwendungsgebiet beschreibt. Es entstand aus einer Lehrveranstaltung des dritten Semesters des Studienganges Elektrotechnik und Informationstechnik der Ruhr-Universität Bochum, die die Studenten vor ihrer Entscheidung für einen Studienschwerpunkt, der entweder stärker auf die Elektronik, die Informationstechnik oder die Informatik ausgerichtet ist, besuchen. Das breite Interessensgebiet dieser Hörer schlägt sich in der Breite der Darstellung nieder.

Die hier vermittelte fachübergreifende Sicht auf ereignisdiskrete Systeme ist für die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Ingenieuren und Informatikern wichtig. War die Ausbildung in den Ingenieurwissenschaften traditionell auf wertkontinuierliche Systeme konzentriert, so wurde mit der Digitaltechnik bereits vor vielen Jahren eine diskrete Denkweise eingeführt. Die Darstellung und Behandlung technischer Systeme in diskreten Signalräumen ist jedoch in der Zwischenzeit auch auf vielfältige Bereiche außerhalb der Digitaltechnik übertragen worden. Das Buch wendet sich deshalb nicht nur an Studenten beider Disziplinen, sondern auch an Ingenieure in der Praxis, die in ihrer Ausbildung der traditionellen Lehre entsprechend nur punktuell mit der ereignisdiskreten Denkweise konfrontiert wurden und sich jetzt für eine breite Einführung in diese wichtige Thematik interessieren.

Inhalt. Nach einer Übersicht über das weite Anwendungsfeld der Theorie ereignisdiskreter Systeme und einer Erläuterung grundlegender systemtheoretischer Begriffe und Methoden gibt das Buch im ersten Teil eine ausführliche Einführung in die Automatentheorie. Dabei werden sowohl die in der Informatik für die Definition regulärer Sprachen verwendeten Σ -Automaten als auch die im ingenieurtechnischen Bereich eingesetzten Automaten mit Eingang und Ausgang behandelt. Automatenetze und Petrinetze erleichtern die Repräsentation nebenläufiger Prozesse.

Der zweite Teil des Buches behandelt Erweiterungen in zwei Richtungen. Einerseits werden nichtdeterministische Zustandsübergänge wahrscheinlichkeitstheoretisch bewertet, so dass Aussagen über die Häufigkeit dieser Übergänge möglich werden. Dabei entstehen diskrete Markovketten und stochastische Automaten als neue Modellformen. Andererseits kann man Verweilzeiten für die Zustände angeben und erhält zeitbewertete Automaten und zeitbewertete Petrinetze, mit denen nicht nur die Folge der von einem System durchlaufenen Zustände, sondern auch die Verweildauern in den Zuständen und die Zeitpunkte der Zustandswechsel beschrieben werden können. Die Kombination beider Erweiterungen macht es bei Semi-Markovprozessen möglich, nichtdeterministische Zustandsübergänge wahrscheinlichkeitstheoretisch zu beschreiben und gleichzeitig Angaben über die Verweilzeit in den Zuständen zu machen.

Aufgaben mit Lösungen dienen zur Wiederholung und zur Festigung des vermittelten Stoffes. Jedes Kapitel schließt mit **Literaturhinweisen** auf die Quellen der Theorie ereignisdiskreter Systeme sowie weiterführende Darstellungen.

Obwohl sich die Theorien der kontinuierlichen und der ereignisdiskreten Systeme bisher weitgehend unabhängig voneinander entwickelt haben, gibt es vielfältige Verbindungen zwischen ihnen. Darauf wird in Beispielen und Analogiebetrachtungen eingegangen. Ingenieurstudenten, die vor allem mit der kontinuierlichen Beschreibung dynamischer Systeme vertraut sind, sollen dabei die Parallelität der systemtheoretischen Betrachtungsweise und die Unterschiede in der mathematischen Behandlung beider Systemklassen erkennen. Für das Verständnis dieses Lehrbuchs werden jedoch keine Kenntnisse der Theorie kontinuierlicher Systeme vorausgesetzt. Leser ohne dieses Vorwissen können die kurzen Passagen zu kontinuierlichen Systemen überspringen.

Vorausgesetzt werden lediglich Grundkenntnisse der Matrizenrechnung und der Wahrscheinlichkeitstheorie, wobei in beiden Fällen das Niveau des gymnasialen Mathematikunterrichts ausreicht. Ergänzende Fakten sind in den Anhängen zusammengefasst. Dies gilt auch für die grundlegenden Begriffe der Graphentheorie, die für die Analyse ereignisdiskreter Systeme benötigt werden.

Danksagung. Herr Dr.-Ing. AXEL SCHILD hat bei der Einführung der Lehrveranstaltung, die diesem Buch zugrunde liegt, mitgewirkt und dabei viele interessante Anregungen für Übungsaufgaben gegeben. Herr M. Sc. MARKUS ZGORZELSKI hat in den letzten Jahren die Übungen gehalten und vielfältige Verbesserungsvorschläge für die Aufgaben und Lösungen gemacht. Frau ANDREA MARSCHALL gilt mein Dank für die Überarbeitung der zahlreichen Abbildungen.

3. Auflage. Bei der Überarbeitung des Textes für die dritte Auflage wurden Anregungen meiner Studenten und Fachkollegen aufgegriffen und zahlreiche neue bzw. veränderte Beispiele und Übungsaufgaben eingefügt. Aufgaben, für deren Lösung rechnergestützte Hilfsmittel zweckmäßig sind, sind mit dem MATLAB-Symbol  gekennzeichnet.

Bochum, im April 2017

JAN LUNZE

Auf der Homepage des Lehrstuhls für Automatisierungstechnik und Prozessinformatik der Ruhr-Universität Bochum www.atp.rub.de/buch/ES gibt es Zusatzinformationen zum Inhalt dieses Lehrbuchs.