

Vorwort

Mit der Entwicklung des Transistors im Jahre 1948 wird die Geburtsstunde der Mikroelektronik verbunden, deren rasante Entwicklung bisher beispiellos verläuft. Wie der Branchenpionier *Gordon Moore* schon frühzeitig feststellte, verdoppelt sich etwa alle 18 Monate die Anzahl der Transistoren auf einer integrierten Schaltung. Er extrapolierte eine derartige Vorhersage exponentiellen Wachstums erstmals 1965 aus den bis dahin entwickelten Schaltkreisen mit wenigen Transistoren und schränkte gleichzeitig ein, dass dies nur bis 1975 gültig sein wird. Mit einer Milliarde Transistoren auf Schaltkreisen wissen wir heute, dass diese kühne Einschätzung auch noch nach über 40 Jahren ihre Gültigkeit behalten hat – eine industrielle Entwicklung, für die es in der Menschheitsgeschichte bisher keine Parallelen gibt.

Dieses Wachstum wird in der öffentlichen Meinung oft ausschließlich der technologischen Ausnutzung der Halbleitereigenschaften des Siliziums zugeschrieben. Hierbei bringt man durch immer feinere Strukturen mehr Komponenten auf einer Fläche unter und erzielt so integrierte Schaltungen von stetig wachsender Komplexität. Jedoch wird meist vergessen, dass diese technologische Weiterentwicklung, so beeindruckend sie auch ist, nur eine Seite der Medaille verkörpert. Die sich ergebenden Möglichkeiten, mit feineren Strukturen höhere Anzahlen von Transistoren pro Fläche zu erzielen, sind erst in elektronische Schaltungen umzusetzen, bevor ihr eigentlicher Nutzen erkennbar wird. Die Fähigkeit zum Entwurf einer solchen Schaltung unter vollständiger Ausnutzung der ständig wachsenden Komplexität ist damit genauso wichtig wie die im Rampenlicht stehende Entwicklung immer besserer Halbleitertechnologien.

Der Entwurf einer elektronischen Schaltung beinhaltet eine Vielzahl von Schritten. Diese beginnen in der Regel bei der Definition der gewünschten Funktionsaufgabe, z.B. mit der Frage, welche Ausgangssignale sich bei welchen Eingangssignalen ergeben sollen, und enden mit der Darstellung der exakten geometrischen Anordnung von unterschiedlichen Komponenten und Materialien, die dann diese Aufgabe erfüllen. Aufgrund der enormen technologischen Entwicklung mit der steigenden Anzahl von Transistoren wächst auch die Komplexität der Entwurfsaufgabe im selben Maße an. Während der Entwurf einer Schaltung mit 200 Transistoren noch manuell bearbeitet werden konnte, so ist man damit bei 200 Millionen Transistoren hoffnungslos überfordert. Hier helfen nur Computerprogramme, die mit Millionen von Rechenoperationen pro Sekunde in der Lage sind, derartig komplexe Strukturen zu erfassen und dem Schaltungs- und Layoutentwerfer einen Großteil der dabei anfallenden Aufgaben abzunehmen.

Die Entwicklung und den Einsatz derartiger Computerprogramme zur Unterstützung des Entwurfs einer elektronischen Schaltung bezeichnet man als Entwurfsautomatisierung. Aus der englischen Originalbezeichnung „Electronic Design Automation“ hat sich auch im Deutschen dafür die Abkürzung EDA eingebürgert. Die Entwicklung begann vor ungefähr 40 Jahren mit ersten Programmen, die bei Leiterplatten die Platzierung der Bauelemente für die anschließende Verdrahtung optimierten. Heute sind sämtliche Phasen des Entwurfs, insbesondere bei integrierten

Schaltungen, rechnergestützt. Die so entstandene EDA-Industrie zur Schaffung und Wartung von Entwurfsprogrammen ist ein nicht mehr wegzudenkender Bestandteil der Mikroelektronik mit einem geschätzten Jahresumsatz von ungefähr vier Milliarden US-Dollar.

Zur bereits genannten Bedeutung des Entwurfs einer elektronischen Schaltung kam in der jüngsten Vergangenheit noch eine sich dramatisch verschärfende Komponente hinzu, die sogenannte „Entwurfsschere“. Während gegenwärtig die Anzahl der technologisch fertigmachbaren Transistoren auf einer Schaltung im Jahresdurchschnitt etwa um 58 % im Vergleich zum Vorjahr steigt, so verzeichnet die Anzahl der entwerfbaren Transistoren „lediglich“ eine jährliche Steigerungsrate von ungefähr 21 %. Damit kann die Entwurfsproduktivität, ausgedrückt in der Anzahl der Transistorfunktionen, die ein Schaltungsentwerfer in einer Zeiteinheit zu bearbeiten in der Lage ist, den technologischen Möglichkeiten seit mehreren Jahren nicht mehr folgen. Experten sind sich weitgehend einig, dass nur eine verstärkte Investition in automatische Entwurfswerkzeuge helfen wird, diese Situation zu entschärfen.

All das verdeutlicht die wachsende Bedeutung der Entwurfsautomatisierung. Neben der bekannten Tatsache, dass kein elektronisches Produkt mehr verkauft werden könnte, wenn nicht Computerprogramme den Entwurf der dabei zugrunde liegenden Schaltungen vornehmen, wird auch offensichtlich, dass der Entwurf einen immer größeren Anteil bei der Produktentwicklung einnimmt. Im jeweiligen Anwendungsfall kommt dann oft noch ein weiteres Problem hinzu, nämlich, dass die käuflich zu erwerbenden Entwurfsprogramme für den allgemeinen Markt entwickelt werden. Damit sind zur Erfüllung einer *konkreten* Entwurfsaufgabe in der Regel noch Modifikationen an den Programmen vorzunehmen, indem z.B. Ergänzungs- und Schnittstellenmodule hinzuzufügen sind. Entwicklungsingenieure elektronischer Baugruppen benötigen damit nicht nur Kenntnisse über die Nutzung von Entwurfsprogrammen; sie müssen auch in der Lage sein, die sich dahinter verbergenden Strukturen und Algorithmen zu erkennen und zu modifizieren.

Zur Vermittlung derartiger Kenntnisse widmet sich dieses Buch detailliert den bei Programmen für die Layoutsynthese zugrunde liegenden Strukturen und Vorgehensweisen. Es behandelt damit grundlegende Algorithmen, die es einem Computerprogramm ermöglichen, aus den Netzlisten- und Bibliotheksinformationen einer elektronischen Schaltung deren Layout zu erstellen. Dazu werden die hierfür notwendigen Schritte, also Partitionierung, Floorplanning, Platzierung, Verdrahtung und Kompaktierung vorgestellt, und grundlegende algorithmische Methoden beschrieben, auf denen moderne Layout-Entwurfssysteme beruhen. Es wird Wert darauf gelegt, aus der Vielzahl der bisher entwickelten Algorithmen diejenigen vorzustellen, die am bedeutsamsten moderne Entwurfswerkzeuge beeinflusst haben. Dass hier keine Vollständigkeit angestrebt werden kann, ist offensichtlich. Die Kenntnis einiger weniger Grundalgorithmen ist jedoch oft ausreichend, um Weiterentwicklungen schnell erfassen und verstehen zu können. Eine große Anzahl von graphischen Darstellungen, Beispielen und Aufgaben dient dabei zur Illustration der algorithmischen Vorgehensweise.

Dieses Buch entstand aus den vielseitigen Erfahrungen des Autors als Software-Entwickler derartiger Programme in einer EDA-Firma, als Programmanwender in einer Halbleiterfirma und jetzt bei der Vermittlung von Entwurfsalgorithmen in der

universitären Ausbildung. Es richtet sich damit gleichermaßen an Studierende der Elektrotechnik/Elektronik und Informatik wie an Entwicklungsingenieure in der industriellen Praxis. Dabei ist das Buch keineswegs auf Entwickler von Entwurfssoftware beschränkt, sondern auch für den Layoutentwerfer einer elektronischen Schaltung gedacht. Es soll darüber hinaus Hochschullehrern als Basismaterial dienen, um die zugegebenermaßen schwierig durchzuführende Ausbildung auf diesem Gebiet zu unterstützen. Die einzelnen Kapitel sind dazu sauber voneinander getrennt und ermöglichen somit eine punktuelle Einbeziehung in unterschiedliche Ausbildungskonzepte. Zu jedem Kapitel steht ein umfangreicher Foliensatz im Internet bereit (www.springer.com/de/3-540-29627-1). Die Kapitel schließen zudem mit erprobten Aufgabenstellungen, die eine Verständnisüberprüfung der wesentlichen Schwerpunkte ermöglichen. Die Lösungen sind ebenfalls dem Buch beigelegt.

Allen, die aktiv am Zustandekommen dieses Buches beteiligt waren, möchte ich sehr herzlich danken. Mein Dank gilt hier besonders Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Werner Krause und Prof. Dr.-Ing. Günter Röhrs (TU Dresden) sowie Herrn Peter Lienig für die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts. Meinen Mitarbeitern Herrn Ammar Nassaj, M.Sc., Dipl.-Ing. Frank Reifegerste sowie Frau Diana Rieger bin ich für viele Zuarbeiten dankbar. Prof. Dr.-Ing. Erich Barke (Universität Hannover), Prof. Dr.-Ing. Stefan Dickmann (Helmut Schmidt Universität Hamburg), Dr.-Ing. Jürgen Scheible (Robert Bosch GmbH) und Dipl.-Ing. Peter Spindler (TU München) unterstützten mich mit konkreten Hinweisen. Für die Zuarbeiten bei der Ergänzung einiger Teilgebiete gebühren Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Dieter A. Mlynski (Universität Karlsruhe) und Dipl.-Ing. Göran Jerke (Robert Bosch GmbH) ein besonderer Dank. Prof. Dr. rer. nat. Rainer Brück (Universität Siegen) bin ich sehr dafür verbunden, dass er mir jederzeit mit Ratschlägen hilfreich zur Seite stand.

Herr Thomas Heinrich unterstützte mich geduldig beim Buchdesign. Vor allem aber danke ich dem Springer Verlag, und hier besonders Frau Eva Hestermann-Beyerle und Frau Monika Lempe, für das in mich gesetzte Vertrauen und die wertvolle Unterstützung bei der Vorbereitung und Herausgabe dieses Buches.

Dresden, im Frühjahr 2006

Jens Lienig

