

数字计算机设计自动化的 理论和方法

[美] M. A. 布鲁尔 编

科学出版社



75.27-22

数字计算机设计自动化的 理论和方法

〔美〕 M. A. 布鲁尔 编

中国科学院计算技术研究所设计自动化组 译

科学出版社

1978

内 容 简 介

本书是介绍数字计算机设计自动化的综合性读物,全书共分七章.第一章概括地介绍了数字系统设计自动化的概念.其下各章分别论述了逻辑综合、逻辑模拟、逻辑分划、布局、布线和故障测试的产生等问题.这些问题在计算机的设计自动化里,都是非常重要的和比较成熟的.本书对这些问题的理论和方法,作了系统性的入门介绍.每个问题均列出了不少主要参考文献,为数字计算机设计自动化问题的进一步研究,提供一个基础.

本书可供从事于计算机设计自动化、计算机辅助设计、计算机设计和研制的科技人员以及高等学校有关专业的学生阅读和参考.

Melvin A. Breuer (Editor)

DESIGN AUTOMATION OF DIGITAL SYSTEMS

volume one

THEORY AND TECHNIQUES

Prentice-Hall, 1972

数字计算机设计自动化的理论和方法

[美] M. A. 布鲁尔 编

中国科学院计算技术研究所设计自动化组 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年10月第一版 开本: 787×1092 1/32

1978年10月第一次印刷 印张: 15 1/8

印数: 0001—46,130 字数: 344,000

统一书号: 15031·196

本社书号: 1177·15—8

定价: 1.55 元

译者序

所谓计算机的设计自动化,就是使用计算机作为工具,使计算机的设计和研制过程达到自动化或半自动化. 电子计算机自进入第三代以后,借助计算机来进行设计的要求越来越显得迫切. 由于计算机规模越来越大,性能越来越好,因而,逻辑结构也越来越复杂. 从逻辑设计、组装设计到制造、检查的各个阶段,需要完成极其繁复而大量的工作,要求处理非常庞大的信息. 这些工作,若由手工去完成,则要花费大量的人力和时间,并且使计算机的研制周期拖得很长. 设计自动化的工作,从五十年代末和六十年代初以后,逐渐为人们所重视,从事研究的人亦渐多;到现在,几乎已形成一门计算机科学里的专业.

本书是由美国电子和电气工程协会计算机小组负责组织编写的《数字计算机的设计自动化》一书的第一卷. 第二卷主要是论述设计自动化的语言及系统方面的. 本书所论述的问题有逻辑综合、逻辑模拟、逻辑分划、布局、布线以及故障测试等. 这些都是设计自动化里最重要的和比较成熟的问题. 本书对这些问题分别作了比较系统的叙述,介绍了解决问题的一些方法. 一般说来,大部分方法都比较实用. 计算机的设计自动化目前还是一门新兴的学科,散见于各种杂志上的文章,数量很庞大,但象本书那样对设计自动化各个问题作较系统的入门式的叙述,还不多见. 本书目前已为国外某些大学的计算机科学系用作教本. 参加本书翻译和校对工作的有刘慎权、唐维白、余淼华、林宗楷、陆雍、顾元、秦瑞祺、魏道政、

沈理等同志。我们认为，此书对于从事计算机的设计自动化以及计算机研制和设计的人员，是有一定参考价值的。但由于译者水平有限，译文中难免有错，恳请读者批评指正。

序 言

数字系统的设计和研制,在使用数字计算机作为设计工具以后,可以部分地达到自动化。为此目的,对设计、评价、制造和维修的各个步骤都必须建立一些有效的方法。在这样一些系统研制的自动化过程中,数字计算机既可以用作控制装置,也可以用作辅助工具。

设计自动化的迅速发展,从大型数字系统制造商的投资,以及一些小公司和软件机构积极支持这方面的工作可以得到证明。

可惜的是,尽管自动化技术有了发展,然而却没有足够的和容易获得的文献,再加上设计自动化的有关技术至今还很少在大学里讲授,这就更增加了困难。结果,许多现有的技术在实际工作者中没有得到应有的重视。用户只能找到很少的依据来评价各种技术的优劣。因此,一件工作往往重复进行。当一些新手进入这领域时,他们常常只得重砌炉灶。

有鉴于此,电子和电气工程协会计算机小组执行委员会建立了一个设计自动化特别委员会来写一本设计自动化实用的书。这本书目的在于:1)为一些具有硬件或软件基础的人介绍数字系统的设计和研制的技术情况,2)指导设计自动化系统中某些方法的选择,3)为研究新的和更好的设计自动化方法提供依据。

这项工作,最初开始于1968年。本书和它的下卷是这项工作的结果。本卷所讨论的是一个系统的有机联系的四个方面,即综合,模拟,测试和工程实现。工程实现包括划分,布局

和走线。下卷讨论的是系统级模拟,寄存器传输级的模拟和综合,文件保管和人机互联系统。

总而言之,本书的两卷叙述了一些实用的方法,这些方法或者已成功使用过的,或者被认为在设计自动化系统中是有用的方法。由于实际条件的限制,穷举的方法和理论上完整的方法往往是不适用的。因为数字系统是有限的,穷举方法虽然有效,但往往也由于代价太高而无法计算。另一方面,很多理论解所具有的好处在实践上往往是不可行的。

我们认为,所谓实用或不实用,是随着用户、问题的参数个数和时间而变化的。由于技术的突飞猛进,今天提出的问题的解决办法,在明天对于同样的问题也许不适合了。这里我们所讨论的方法,对于设计自动化系统的建立和运行的成本来说是合理的,用它可以得到一些有用的结果。

本书不但适用于那些从硬件或软件来看都对设计自动化某些方面比较熟悉,并希望了解一下其他领域的读者,而且对于刚进入设计自动化领域的读者也是合适的。对于希望学习与逻辑设计和开关理论的传统课程不同的计算机设计内容的学生,本书是特别有益的。读者只需具备数字计算机和逻辑设计的基础知识就够了。

我们相信,本书也会引起从事应用组合分析方面研究的人们的注意,因为我们涉及到这个领域的很多主要课题,例如离散最优理论、分枝限界方法、整数规划、图论、覆盖问题、巡回售货员问题、分配问题,以及二次分配问题。

材料已分别收进两卷中。第一卷偏重于硬件方面,第二卷则偏重于软件方面。

第一卷处理的问题是逻辑综合,模拟,测试和工程实现。

在第一章里,我们介绍数字系统的计算机辅助设计的一般情况,讨论了计算机辅助设计的起因和目标,勾划出这个正

在发展着的领域的历史情况。末尾,概括介绍了在研制一个新的数字系统时的各个阶段,并指出设计自动化在设计和制造过程的每个阶段里,那些地方联系以及它们如何联系。

第二章讨论逻辑综合的经典问题,提出了逻辑简化,因子分解,不同逻辑元件族间的转换等方面的方法。考虑了与扇入和扇出的约束条件有关的实用上的限制。

第三章叙述数字系统的逻辑模拟(或称门级模拟)。讨论了逻辑模拟的目的,模拟语言,模拟方法和系统。

下面三章涉及到的是与数字系统工程结构有关的三个主要问题。

第四章谈到的是与元件的安排有关的各种划分和分配问题,也涉及到标准电路组件效率的估价问题。

第五章详细的分析了初始布局和布局改进问题的各种算法。这些方法可以应用于各种类型的底板功能部件,例如元件、组件和插件板。

连线和走线问题在第六章叙述。讨论的范围包括离散的和印制的多层连接方法,包括连线的定顺序,选择路径,选择插针以及层的选取。

最后在第七章里,我们讨论了组合和时序逻辑电路的故障诊断和测试的产生问题。

正如程序语言已经由机器码发展到汇编语言以至不依赖于机器的语言那样,数字设计语言也从描述电路发展到布尔表达式以至于寄存器传输级语言,最后发展为系统级语言。第二卷要论述的主要是在较高级的语言描述下新的设计方法及其有关的支援系统。特别是,这一卷将包含下列一些课题:

- 1 数字装置的系统级或功能级的描述语言,和用以估计系统性能的有关模拟方法。

- 2 寄存器传输语言。

- 3 数字装置在寄存器级描述下的综合.
- 4 在寄存器传输级上的系统模拟.
- 5 一个完整的设计自动化系统使用的数据库系统.
- 6 人机对话的图示系统及其在计算机辅助设计中的作用.

目 录

译者序	iii
序言	v
第一章 引论	1
1.1 设计自动化的目标与用途	1
1.2 发展情况	4
1.3 设计一个计算机系统	12
第二章 逻辑综合	23
2.1 引言	23
2.2 记号、定义及基本结果	28
2.3 覆盖一个单-输出的开关函数	38
2.4 求多-输出开关函数的覆盖	58
2.5 通过因子分解综合有限制的“与非”网络	68
2.6 电路更改技术	91
2.7 数据结构	100
2.8 其他课题	103
第三章 门级逻辑模拟	118
3.1 引言	118
3.2 逻辑模拟过程	120
3.3 建立逻辑模型	130
3.4 模型的考验	151
3.5 故障模拟	165
3.6 专门的模拟方法	172
3.7 模拟程序的例子	179
3.8 模拟程序的选择标准	187
第四章 分划与板片选择	199

4.1	引言	199
4.2	构成材料和技术的影响	200
4.3	逻辑设计的图论表示法	202
4.4	可更换单元的标准库	207
4.5	分划问题	214
4.6	选择问题	231
4.7	未解决的问题和结论	239
第五章	布局方法	244
5.1	引言	244
5.2	布局问题的定义和图的模型	245
5.3	联结规则	250
5.4	有关的数学问题	252
5.5	构造初始布局的方法	258
5.6	改善布局的迭代法	281
5.7	分支限界法	303
5.8	结论	311
第六章	走线	325
6.1	引言	325
6.2	连线表的决定	329
6.3	分层	338
6.4	排次序	351
6.5	布线	355
6.6	最后评述	373
第七章	故障测试的产生	380
7.1	引言	380
7.2	一些定义	382
7.3	一些经典方法的回顾	388
7.4	组合逻辑的测试产生模型	393
7.5	时序逻辑的测试产生模型	431
7.6	自动测试的应用	447

第一章 引 论

R. J. 普赖斯

本章拟对设计自动化的目的和进展,及其在计算机设计过程中的应用作一概述。因为被论述的这一领域牵涉到很多工厂、大学和研究机构,读者不要认为,所谈到的无论那个过程都有某个机构实践过。读者还是这样去理解为好,即这个概述是作者所曾观察到的,阅读到的,与其他从事设计自动化的人讨论到的很多经验的综合。

本章分成三节。1.1 节叙述设计自动化的目标和为达到这些目标曾作过的尝试;1.2 节叙述设计自动化发展的历史;1.3 节综述与数字系统的设计有关的各个步骤,而着重谈一下设计人员的职责和使用设计自动化系统的问题。

1.1 设计自动化的目标与用途

设计自动化,在这里谈到的是一个目标,而还不是直接可以实现的東西。它是使用数字计算机来帮助产生、检查和记录数字系统设计中的数据和文件的一门技术。

设计自动化的目标在于减少从设计开始到制造完成的成本和时间。实现了这些目标,就可以免除设计工程师如下一些重复而费时的手工工作:

1. 产生详细的设计信息,并在所谓系统逻辑页上将它整理成文件;

2. 控制系统逻辑页的修改;
3. 检查系统设计里电的、逻辑的和物理的相容性;
4. 制备布线表、接线表、位置图和其他例如材料清单和测试等制造时用的数据.

设计自动化所包含的课题是多种多样的. 但其总的论题是消除数字系统设计里重复的手工操作和计算. 元件、电路、机械结构和冷却等在设计方面的计算则不予考虑. 因此, 设计自动化限于填补系统说明书与制造数据之间的间隔. 与它有关的是将系统说明书转变为逻辑硬件, 将硬件组装为工程的结构, 并把此过程进行描述以便投产.

如果设计过程能完全自动化, 则用高级语言描述的数字系统的总体设计数据 (the conceptual data) 可以直接转换为制造机器所必需的详细的数据, 即部件数、装配序列、接线信息等. 即使不能做到完全自动化, 也可以把设计自动化作为一个数据库, 从那里取出所需的设计信息, (在专门的设计机械的帮助下) 计算附加的细节, 然后把新的数据送回数据库去. 这里允许创造性的人工干预, 当说明书改动时, 可以作些增加和删减.

描述设计的数据库, 既可以包含人工产生的数据, 也可以包含计算机产生的数据. 对于每个逻辑功能, 这里包括它的部件数编码, 它在机架的实际布局, 测试点, 接线和内部布线信息, 交叉参照数据, 注解, 以及对设计进行更改的信息. 补充的信息, 例如拐弯点的精确位置和类型或电缆和连线的长度, 可以从主文件删去而归属于辅助文件. 同样, 子部件的, 例如安装在板片上的分离元件的详细描述, 可以归属于辅助文件. 不过, 每个辅助文件, 一经以计算机可读形式进入设计自动化系统数据库以后, 很少再进行录制, 而是在随后的计算中由系统使用.

虽然设计自动化的基本目标在各个制造商之间逐渐趋向于一致,但自动化的方法则有趋于完全不同之势。一种极端是制造商把他的现场文件的精确性看作是最重要的,因此在设计 and 制造中使用机器可读数据库和相同的文件。另一种极端是制造商所使用的现场文件、设计文件和制造文件可能是不相同的。后一方法最好称之为具有多种数据库。它的特点是利用计算机可读形式进行多次录制,以便使用计算机来完成某些计算,例如逻辑模拟(要有逻辑数据)、布线(要有连接数据)、或负载检查(要有电学数据)。由于录制错误而突然发生的差错通过过程的方法来检测。现场文件通常是由制图员产生的。现场文件可能完全反映,也可能不完全反映设计更改的最后情况。

设计自动化程序一般不是所有制造商都能享用的,因为这些程序完全依赖于设计特点、所使用的线路技术、以及设计工程师用来辅助设计的计算机。(能用于各种计算机的高级语言的使用方面,曾使人感到失望。这些语言看来是效能不高的:作为实验是很好,作为生产使用则太浪费了。)此外,如果使用标准化的组装和逻辑,如果建立起各个制造商都统一的标准控制系统,设计自动化是格外有利的。这些方面通常是专利的,因为他们牵涉到一个设计或制造过程比别的过程提供经济上更大的利益。

除了使设计的检查和记录的保存自动化外,设计自动化系统还有另一个重要功能:有效的更改控制。由于缩短了设计和工程更改时间,它容许在以后的研制过程里进行逻辑更改,保证制造说明和试验过程的精确,这样就使人们相信,手工方法是不能希望达到此点的。

1.2 发 展 情 况

在五十年代中叶,第一代存储程序计算机(电子管的一代)正在盛行。与此同时,晶体管技术正逐渐被人了解;在成批生产的元件中,统一的线路特性可望得以保证。正在设计的新的(第二代的)计算机显然会使用这种新技术。

当晶体管电路比起电子管电路来显得更小、更快和更便宜时,晶体管电路的使用就意味着计算机新的一代必须从结构起重新加以设计。还有,新元件体积小,在组装和互连方面带来了新的问题。一个由七个电子管组成的电路就要求大约100立方吋的空间,但不需要比这更多的空间就可放上十个晶体管电路。元件越小,电路速度就越增加。与此同时,由于连线更为接近,诱导出的干扰也增加了。

就在这个时候,计算机制造商使用了晶体管,有可能满足军用计算机的合同期限。这些合同期限迫使计算机制造商寻找设计计算机的新途径。

1.2.1 设计过程自动化的工作

大约在1955年,那时在任何一本杂志上都还没有半点这方面文献出现,设计自动化的思想开始受人欢迎,主要的计算机制造商都在搞计算机辅助设计,也就是设计机械化或者设计自动化方面的事情。

通常在一个公司里,设计过程的研究表明,逻辑设计者将他的思想用粗略的形式写下来,交给制图员,由制图员将它变成更易阅读的图样。制图员的图样副本里可以加上附加的信息,使之有足够的信息来进行布线和接线的设计。这个过程本身会使总图增加附加的信息。在每次作增加或更改时,把

变化记录下来,在经过检查之后,相应的设计师便在图样上签字。

随着晶体管电路的出现,布线设计者的工作变得更难了。他必须查明两条相邻导线没有平行走得太长,因为这会产生干扰。他成为一个必不可少的环节,因此在设计和制造的过程里他需要给予帮助。可以使用计算机来设计线路格网,考虑电容负载和导线间的噪声,并打印线路图。这种手段能保证设计师更为直接地干预最后的硬件研制。同时,在生产过程中它还能做一些辅助工作,例如对接线工人应当遵循的路径和次序进行计算。还有,这些计算可能会使计划大大提前完成。

计算机设计师同时认识到,如果将逻辑图保存在磁带文件里,每次进行工程更改时,计算机能将这些图打印出来,设计周期就可大为缩短。这只需将若干张描述更改的卡片穿孔,修改总文件,就可在几分钟之内获得被修改的设计的打印结果。

1.2.2 设计自动化的最初应用

在文献里谈到的最早的设计自动化系统中的一个,是1956年由Cray和Kisch^[2]在西部联合计算机会议上提出的。他们描述了一个含有三个阶段的程序。第一阶段是逻辑方程的检查,目的在于检查逻辑的、书写中的和时序的错误。进一步检查的是计算每个线路的输入和驱动输出数(即扇入/扇出检查)。布尔方程也可以分成不同种类,打印结果可以提供给需要的人们。在第二阶段即模拟阶段里,设计师可以从被模拟的开关底板置入布尔方程的输入值,然后,宛如他已将机器制成正在调试它一样,观察所得结果。最后,在第三阶段,设计师把他的设计组装成部件,对机架间的线路连接进行计算,造

好导线的源点和终点的表格,标出导线的颜色和长度.值得注意的,也正是这篇文章之所以具有开创性的一点,是文章没有引用参考文献.另一篇由 Kloomok, Case 和 Graff 等人写的叙述一个类似的但更为精细的系统的早期文章,是在 1958 年于东方联合计算机会议上提出的^[3]. 1960 年以后,很多制造商纷纷讨论他们的系统^[4-7]. 图 1-1 描绘的是计算机设计师所面临的问题和设计自动化的问题.下面我们简短叙述一下设计自动化的进展.

让我们回到设计自动化系统的研制问题. 开头,布线设计的输入信息来自系统逻辑蓝图. 然后,要用导线连接的一系列点的坐标被穿成孔. 计算机程序由布线规则和合理的布线通道构成. 在读入被穿成孔的坐标以后,计算机产生一些表格,指明每根线的长度,每根线被装入的次序和每根线应走的路径(图 1-1,项目 1 和 2).

与此同时,制造工程师进一步考虑自动化的问题. 何必要人作底板布线呢? 为什么不叫计算机产生一些布线机能遵从的指令,穿在卡片上? 能不能将工程表格的数据穿成布线机所需的纸带的形式?

格德涅尔-典佛仪器公司研制的一台卡片控制布线机,在五十年代末期曾被广泛地使用^[10]. 布线程序曾被改进以控制这台机器. 由于这种机器的使用,不但布线速度提高了,而且错误也大大减少了. 底板布线技术员现在可以大大提高他的生产效率了. 但并不是所有都能自动化的,因为工程师经常通过工程化的改动来改进他们的设计,手工修改布线仍然是必要的.

同时,把更改的工程信息积累在逻辑总带上的方案开始提出来了. 要想看看设计状态,可以把总带打印出来. 输出结果可以用颜色笔指出变动部分. 然后,如果要修改总带,只