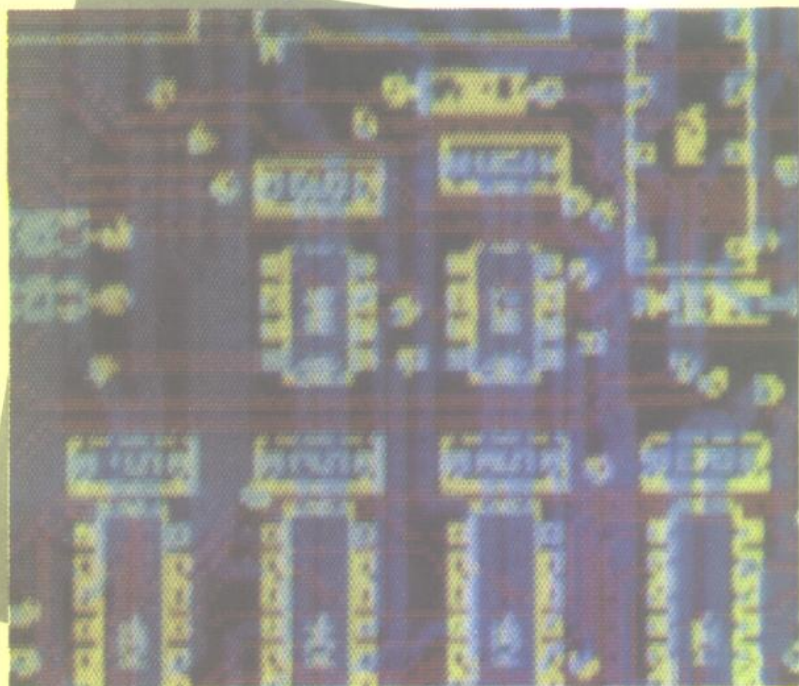


专用集成电路 行为功能级模拟技术

叶梅龙 刘明业 编著



中国铁道出版社

TN402

375020

CAD 丛书

专用集成电路行为功能级模拟技术

叶梅龙 刘明业 编著

(中国科学院计算技术研究所 CAD 开放研究实验室)



中国铁道出版社

1994年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书较全面地讨论了行为功能级模拟器及其使用方法。首先介绍了 DDL 语言及行为功能级模拟器的组成。继之以 RISC SPARC 为例讨论了 ASIC 的 DDL 描述及模拟器的使用方法。最后研讨了全机性行为功能级模拟的策略与测试码的选择问题。

本书可供从事 VLSI/ASIC 设计自动化的科技工作者参考,也可作为高等学校计算机专业和 VLSI/ASIC 设计专业的高年级学生及研究生的教学参考书。

CAD 丛书

专用集成电路行为功能级模拟技术

叶梅龙、刘明业 编著

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 殷小燕 封面设计 陈东山

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:6.625 字数:165 千

1994 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—2000 册(平)

1—500 册(精)

(平)ISBN7-113-01494-1/TP·148 定价:7.00 元

(精)ISBN7-113-01636-7/TP·162 定价:10.05 元

前 言

计算机辅助设计(CAD)作为一种实用性极强、发展十分迅猛的科学技术,已成为传统产业改造、工程设计变革、劳动生产率提高和产品市场竞争力增强的有力手段,对一国经济发展具有重要的意义。

中国科学院计算技术研究所 CAD 开放实验室,于 1987 年 9 月经中国科学院批准成立,多年来它聚集了国内外 41 个单位的 240 余名优秀人才,在国家“七五”攻关计划、“863”高技术计划和国家自然科学基金项目等的经费支持下,开展了 CAD、计算机图形学、专家系统、工程数据库等的基础性研究和系统研究开发的大量工作,取得了一系列重大研究成果,并已成功地应用于电子、机械、建筑、地理、控制、工程管理及艺术等领域,为我国 CAD 科技的发展作出了重要的贡献。为对其中一些具有显著特色的研究成果及时进行总结、提炼和交流,CAD 开放实验室决定组织撰写这套 CAD 丛书,第一批包括:《专用集成电路行为功能级模拟技术》、《机械设计专家系统研究与实践》、《计算机在建筑设计造型中的应用》、《分形的计算机图象及其应用》、《计算机地理真实感图形》、《VHDL 语言及其应用》和《工程数据库》等共七部专著先行出版,其余专著也将根据研究进展,陆续撰写出版。

丛书从不同侧面比较系统地反映了 CAD 与计算机图形学国内外的最新动向和成就,将对这一领域技术在我国的传播、提高与推广产生积极的影响,也为我国广大设计工作者,大专院校教师和学生提供一种有价值的参考书。我相信广大读者必将能从这套丛书中得到助益。

中国计算机学会理事长
中国科学院学部委员 张效祥
一九九三年七月

CAD 丛书编委会

主 编：魏道政

编 委：石教英

许隆文

刘明业

刘慎权

周堤基

林宗楷

唐荣锡

唐璞山

序 言

1987年9月,中国科学院批准成立了中国科学院计算技术研究所CAD开放研究实验室,承担了国家“七·五”攻关、“863”高技术计划和国家自然科学基金项目,聚集了国内外41个单位的240余名优秀人才,在CAT、CAD、图形学、专家系统、工程数据库等的基础研究和高水平CAD系统研制方面,均取得了重大研究成果。这些成果在电子、机械、建筑、地理、控制、工程管理和艺术等领域得到成功的应用。

为了对这些研究成果进行总结、提炼与升华,我们室决定组织并撰写一套CAD丛书,并将陆续出版。

这套丛书的第一批包括7本著作,它由20余名中青年学者,历时3年撰写而成的:

《专用集成电路行为功能级模拟技术》介绍了行为功能级模拟器及硬件描述语言DDL,以RISC SPARC为例讨论了ASIC的DDL描述及模拟器的使用方法,研讨了全机性行为功能级模拟的策略与测试码的选择问题。

《机械设计专家系统研究与实践》阐述了机械设计专家系统的基本概念、基本理论、专家系统开发环境与工具,以作者所研制的多个机械设计专家系统为实例较为完整地介绍了如何建立一个设计型的专家系统,如何评价这些系统等问题,并对新一代机械设计专家系统进行了展望。

《计算机在建筑设计造型中的应用》以作者研制“中国古典园林三维模拟系统”、“中国皇家园林三维模拟系统”和“计算机辅助建筑造型系统”等为实例,从理论与实践的结合上介绍了在计算机屏幕上逼真地显示园林景观的真实感图象,通过改变视点和视线方向,可动态地模拟游人在园林环境中所得到的身临其境的艺术感受。

《分形的计算机图象及其应用》将分形作为研究和处理自然(如工程中不规则图形)的有力的理论工具。这本书介绍了分形几何的有关理论、方法与计算机图象生成算法,以及可充分显示混沌、分形之美,而且也展示出分形应用的若干重要领域。

《计算机地理真实感图形》从地理科学应用及其图形表现方法的特点出发,根据地图生产过程的本質,将地图信息、地图数据的提取、逻辑结构、存取管理、图形描述等用具有真实感的三维立体图来表示。这项技术可用于编制各种专题地图、军事导航、国土管理开发决策、水利交通规划等领域。

《VHDL 语言及其应用》介绍了硬件描述语言 VHDL,它正成为世界范围计算机辅助设计的交流媒介。VHDL 现在是 IEEE 1076 标准,并得到工业界的广泛支持。这本书介绍了 VHDL 的基础、数据类型、行为描述、结构描述、VHDL 的高级特点、VHDL 的建模技术和如何使用 VHDL 进行硬件设计。

《工程数据库》阐述了工程数据库的特点、它在集成化技术中的应用、数据模型、数据库语言、版本管理、工程数据库管理系统及数据库技术发展趋势等等。

应该说目前这几本书仅仅反映我们室一小部分的工作,但它们从不同侧面反映了 CAD 与计算机图形学领域国内外的先进技术与最新动向。可以欣慰地说,在取得一批优秀成果基础上撰写的这套丛书的出版雄辩地表明在所论及的领域,我国学者已经成功地缩小了与国际先进水平的差距。

我们十分高兴的是中国计算机学会理事长、中国科学院学部委员张效祥教授亲自为这套丛书写了十分精辟的前言。我们希望这套丛书能对有关的研究与开发人员和广大的设计人员有所益处。

这套丛书所论及的研究工作得到了国家“七·五”、“八·五”科技攻关项目、国家自然科学基金、国家“863”高科技项目的支持。而这套丛书的出版则得到了铁道科技出版基金的资助。“八·五”铁道技术进步规划要点提出要以电子技术应用与机电一体化作为铁路工业产品的第二次更新换代的关键技术,并特别强调在工业产品、工程设计和房屋建筑等方面广泛采用 CAD 技术。这套丛书在中国铁道出版社出版表明了铁道部门的主管领导和专家委员会的远见卓识。

CAD 技术是一门飞速发展的技术,这套丛书不可能涉及到它的所有领域,甚至也不可能涉及到某一领域的所有方面。人们对 CAD 技术的研究、认识将不断深化。因此,我们希望有更多的专家、学者和有关人士能关心、支持和参与这套丛书工作,并给我们提出宝贵意见。

中国科学院计算技术研究所 CAD 开放

研究实验室主任 林宗楷

一九九三年五月

作者序言

面临着 90 年代新技术革命的挑战,以微电子技术为核心的现代电子技术已成为当今世界最先进的生产力。而电子技术的广泛应用标志着一次极其深刻的产业革命已经到来!其中重要内容之一是 VLSI 技术更加广泛而深入的渗透到各行各业中去。现在国家有关部门已提出机械电子一体化、兵器电子一体化、飞机电子一体化、舰船电子一体化和轻工电子一体化等等。这表明现代 VLSI 技术发展的重要趋势之一是直接面向用户需要,根据电路系统行为和功能的要求,由顶向下逐个层次完成相应的设计描述、综合与优化,模拟与验证,直至生成器件,称其为专用集成电路(ASIC)。现在整机产品正在向体积小、重量轻、容量大、速度快的方向发展,支持这种发展的关键技术也是集成电路。实践表明,整机设计的核心就是要设计自己的专用集成电路。而专用集成电路的特点是面向特定用户的需求,品种多、批量小、要求设计与生产周期很短。解决这一问题的关键技术是高层次自动综合、混合模拟及可测试性设计技术。现在国内、外集成电路设计行业呼声愈来愈高,迫切要求从面向用户应用对象的 ASIC 系统的行为和功能描述开始,并经过行为功能级模拟,验证该描述符合预期要求后,再经过自动综合,直接生成 ASIC 版图设计的逻辑结构级输入描述。

本书就是为适应当前国内 ASIC 设计技术发展的需要,将我们多年来所研制的 DDL 语言行为功能级模拟器 BFLSIM 作一较全面而系统的总结,并结合典型应用示例 SPARC MB86901 的全机性行为功能级的模拟,将该项技术介绍给读者。

全书分四章。第一章扼要地讨论了硬件描述语言 DDL、数据输入和控制命令语言 DCL 及其行为功能级模拟器的组成;第二章概括地介绍了 RISC SPARC 的体系结构、指令集,并详述了 SPARC IU 部件指令集的 DDL 描述方法;第三章继之分析了该指

令集的模拟结果;第四章探讨了整机性行为功能级模拟的策略和测试码的选择问题。第一章由刘明业执笔,叶梅龙撰写了其余各章并统校全书。

本书可供从事 VLSI/ASIC 设计自动化的科技工作者参考,也可作为高等院校计算机专业和 VLSI/ASIC 设计专业的高年级学生及研究生的教学参考书。读者只要具有计算机体系结构及集成电路设计的基本知识便可顺利阅读。书中所涉及的 DDL 模拟器软件和 MB86901 的描述可以在 Apollos 工作站和 SUN 工作站上运用”。

周琦、聂铭洲同志为本书的 MB86901 描述和模拟做了大量工作;刘欣桃、李良同志协助绘制了插图等;撰写过程中曾得到清华大学微电子所岳震伍教授和周润德博士的协助,并提供了有关参考资料。本书的出版得到中国科学院计算技术研究所 CAD 开放研究实验室主任林宗楷教授的关心和帮助。对以上各位同志,作者谨此一并深谢。

作者

一九九二年金秋

于北京理工大学

目 录

第一章 DDL 语言行为功能级模拟器	1
第一节 行为功能级模拟的意义	1
第二节 行为功能级模拟器 BFLSIM 的组成	3
1 源描述输入	3
2 编译器	3
3 模拟系统总控	4
4 模拟器	4
5 输出过程	4
6 DCL 解释器	4
7 接口机构	4
8 调试工具	4
9 描述库	5
第三节 DDL 语言简介	5
1 词法约定	6
2 布尔表达式	10
3 相容操作集 CSOP	11
4 简单器件说明	11
5 复杂的组合器件说明	11
6 复杂的时序逻辑器件说明	13
7 系统说明	14
第四节 数据输入和控制命令 DCL 语言	15
1 工作方式选择段	17
2 模拟时钟范围段	18
3 外部引线输入段	18

4 存贮器件赋值段.....	18
5 输 出 段.....	19
6 转 储 段.....	19
7 抑 制 段.....	19
8 启动和停止段.....	19
9 故障设置.....	20
第五节 模拟器的工作流程及操作	20
1 本模拟器的基本功能.....	22
2 模拟器运行的操作方法.....	22
第六节 模拟系统的调试工具 DEBUG	23
第二章 RISC SPARC 及其 DDL 描述	25
第一节 RISC SPARC 简介	25
1 RISC 技术的产生与发展	25
2 RISC 的体系结构及其特点	27
3 RISC 的性能评估	28
4 RISC SPARC 的结构及其竞争优势	30
第二节 RISC SPARC 的体系结构及指令操作	33
1 指令格式与分类.....	33
2 寻址方式.....	37
3 四级流水线(Pipeline)	37
4 功能单元.....	38
5 MB86901 SPARC 的指令操作过程	42
第三节 MB86901 SPARC 的 DDL 描述的总体构思	43
第四节 单周期指令的描述	49
第五节 多周期指令的描述	58
第六节 延迟转移(BRANCH)指令 Bicc 的描述	72
第七节 陷阱(TRAP)指令的描述.....	80
第八节 跳转(JMPL)指令的描述	85
第九节 调用(CALL)指令的描述	87

第十节 存贮、重现和读写控制寄存器指令.....	88
1 SAVE 指令的操作	88
2 RESTORE 指令的操作	92
3 读写控制寄存器指令.....	97
第十一节 数据相关问题的 DDL 描述	97
1 相关的指令均属于寄存器间的操作.....	97
2 访存指令.....	98
第三章 MB86901 SPARC 的行为功能级模拟的执行	101
第一节 行为功能级硬件模型运行的目的.....	101
第二节 MB86901 SPARC 全机指令模拟结果分析	102
第三节 MB86901 SPARC 汇编器的设计及运行	107
第四节 SPARC 的硬件设计和时序安排	108
第四章 MB86901 SPARC 全机性模拟策略	110
第一节 行为功能级测试的意义.....	110
第二节 寄存器测试.....	111
第三节 指令测试.....	112
附录一 MB86901 SPARC 的 DDL 源描述	119
附录二 部分指令模拟结果.....	166
附录三 乘法指令模拟结果.....	180
参考文献.....	200

第一章 DDL 语言行为功能级模拟器

第一节 行为功能级模拟的意义

由于 VLSI 的迅速发展,目前无论在国外或国内已有愈来愈多的人意识到专用集成电路(ASIC, Application Specific Integrated Circuit)或硅编译器(SC, Silicon Compiler)的设计需要从系统的行为功能描述开始,然后通过翻译或层次间的变换,将较高层次的抽象描述映射为具体结构的描述,直至产生出版图(mask)的描述(如 EDIF, Electronic Design Interchange Format 或 CIF, Caltech Intermediate Format)。这里至关重要的:一是需要一种实用的行为功能级描述语言;二是要有一个相应层次的模拟器。通过模拟预测所描述或定义的系统的行为功能是否能满足预期的要求,这是整个行为功能级自动综合系统的第一步,也是关键的一步。

本书讨论的行为功能级模拟器,就是以描述数字系统/VLSI 的体系结构、组成原理和指令操作为基础,检测组成系统的各部件(如寄存器、暂存器、计数器和总线等)间的信息传输和操作,借以验证各指令执行(时序及操作结果)的正确性,以及各部件和数据通路设置的合理性。该模拟器能完成:

- (1)模拟整个系统工作的全过程及各组成部分的行为功能;
- (2)验证系统各指令执行的正确性及部件与通道设置的合理性;
- (3)在模拟器中运行机器的代码程序,对其进行提前调试。这对于诊断程序和系统软件的开发是十分重要的;
- (4)运行专用工作程序,完成基准程序测试法的性能评估。特别是可用于估算其动态性能;

(5)为软硬件统一考虑,设计新体系结构的计算机提供模拟工具。

模拟过程中输入、输出和内部传输的信息都是成组的数据,它们反映出“引线上的信息”,或“寄存器中的内容”随时钟或节拍的变化而进行传输、运算和变化的情况,借以描述数字系统的动作过程。因此,功能模拟软件是验证数字系统的设计和解剖、分析超大规模集成电路和微处理机芯片的得力工具,它不但可用于补救编排指令操作表时产生的疏忽,为交付生产的批准、验收提供依据,同时也是先进的 VLSI 和计算机设计自动化系统必不可少的一部分。

为了定义或描述一个数字系统/VLSI 芯片,应掌握系统的必要信息,例如

- (1)组成系统的基本部件及其功能;
- (2)基本数据通道的设置及控制信息的产生;
- (3)系统实现的基本功能,如指令系统等;
- (4)功能信息的组成,如指令格式、寻址方式等;
- (5)控制方式及基本操作的时序安排等。

本书试图结合 MB86901 SPARC 向读者介绍行为功能级模拟器 BFLSIM 的使用方法:

(1)如何用行为功能级描述语言 DDL 描述数字系统,象掌握程序设计语言那样总结数字系统的 DDL 语言描述方法;

(2)如何用模拟器验证所描述的数字系统行为功能上的正确性和逻辑结构的合理性;

(3)如何为逻辑综合提供正确合理的描述;

(4)要描述一个给定的数字系统,应提供哪些有关数字系统结构和功能的信息;

(5)如何模拟复杂的程序或软件,如模拟 C 语言编译器等。

第二节 行为功能级模拟器 BFLSIM 的组成

行为功能级模拟器 BFLSIM 采用表驱动法进行模拟^[1],其工作主要分为两步:首先,由编译器将文本形式的 DDL 语言的源描述编译成能反映实际数字系统的内部表示,并可存入描述库中,为针对不同模拟环境的多次模拟提供方便;描述库实际上就是对问题——数字系统描述的知识库。DCL 语言提供各种输入、输出及监控信息和其它模拟所需信息。然后,利用描述库中的内部表示,根据模拟环境,由模拟器解释用户命令,控制模拟进程,同用户交互工作,进行模拟。最后提供模拟结果(包括相容检查、出错信息以及其它有关的信息)。其基本结构如图 1.1。

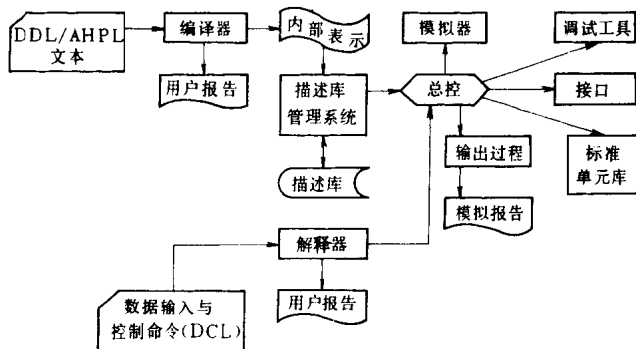


图 1.1 模拟系统 BFLSIM 结构图

1 源描述输入

输入数字系统的 DDL 语言文本形式的源描述。

2 编译器

对照 DDL 语言的 BNF 范式进行词法、语法和语义的检查,将

源描述编译成内部表格形式,并向用户提供分析报告(包括诊断信息、输入/输出表、描述文本等)。同时,优化内部表示形式,以提高系统模拟效率。

3 模拟系统总控

提供模拟所需资源(如库装入)及输出控制、接口控制及改变模拟环境、初始化、监控和跟踪的控制,完成系统的全面管理。

4 模拟器

进行各引线上和寄存器中信号值的计算,同时作相容性检查。

5 输出过程

对模拟结果进行处理,用易于整理的格式输出;既可输出表格形式的结果,又可以以波形形式输出。

6 DCL 解释器

对初始化、外部激励和监控等信息进行检查,解释成模拟器可用的形式,并使用户能够设置故障,改变模拟环境。

7 接口机构

接口机构是模拟系统与其它设计工具之间的接口,它应采用易于理解和面向问题的对话语言,使模拟结果以人机交互方式很快反应出来。

8 调试工具

提供一种简便的调试手段,使用户可以跟踪模拟过程,对源描述进行调试。

9 描述库

存储数字系统 DDL 描述编译后的内部表示。它允许进行模块编译和连接,为一次编译多次模拟提供方便;并实现描述库管理系统与模拟系统之间的通讯。

第三节 DDL 语言简介

DDL(Digital system Design Language)语言是出现较早且在文献中最常见的硬件描述语言,近年来被认为是 VLSI 行为功能级描述语言的典型代表之一^①,实践表明 DDL 语言具有许多可贵的优点:

(1)描述方法采用多层次嵌套和模块化结构,适合于描述整机性的规模较大系统。而且描述易于书写、功能分配清楚、也容易阅读。

(2)采用基于自动机工作原理的控制流部分的描述,支持多相时钟,数学模型清晰。

(3)描述层次覆盖范围较大,从行为功能级、寄存器传输级、乃至逻辑级。效率最高是寄存器传输级。

(4)文本所提供的丰富的基本算符(如移位、计数等)相当于其它语言(如 AHPL)的一个功能模块,为书写描述带来很多方便。

DDL 语言主要用于在行为功能级和寄存器传输级描述计算机或 VLSI 的设计。本节扼要讨论 DDL 语言及其使用方法。

① 起始于 1981 年 6 月的美国国防部(DoD)超高速集成电路(VHSIC, Very High Speed IC)工程,于 1985 年 8 月推出 VHDL(VHSIC Hardware Description Language)7.2 版本。IEEE 1986 年 3 月开始 VHDL 标准化工作,并于 1987 年 12 月定稿为 VHDL IEEE-1076,确定为工业标准。该语言可覆盖逻辑级以上(含逻辑级)各层次的硬件描述。现已在世界各国推广应用。