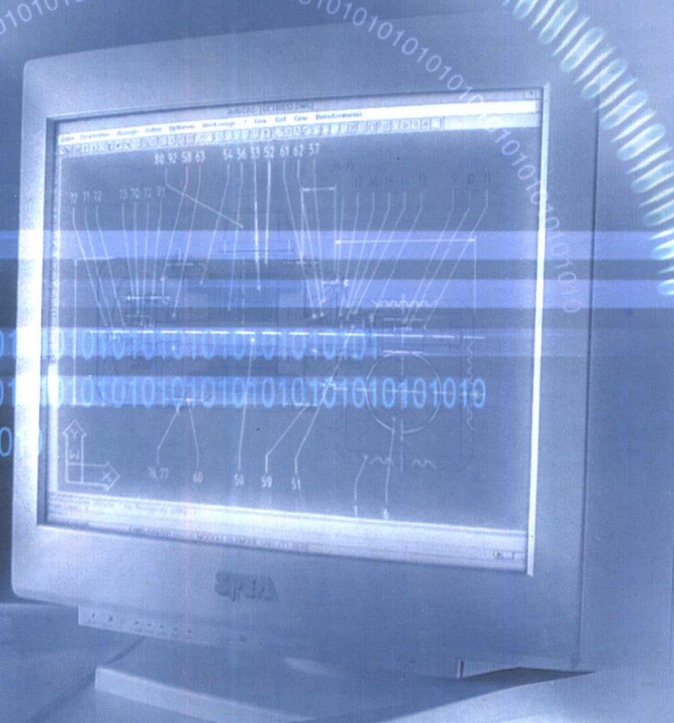


工程图样数字化转换 与智能理解



机械工业出版社
China Machine Press

工程图样数字化转换与智能理解

陆国栋 张树有 等著



机械工业出版社

本书介绍了工程图样计算机处理与理解的方法和技术,根据数字化涉及对象和处理层次的不同分为三大部分:第2章到第4章为光栅模型到矢量模型转换的矢量化;第5章到第10章为二维模型之间转换的尺寸理解与参数化;第11章到第14章为二维模型到三维模型转换的三维重建。矢量化部分介绍工程图样扫描输入和光栅/矢量混合编辑、矢量化方法、矢量转换中的图符识别;尺寸理解与参数化部分介绍计算机尺寸标注的各种方法、工程图样参数化处理方法、尺寸动态编辑与自适应标注以及几何层、零件层、装配层的尺寸理解;三维重建部分介绍工程图样工程语义的分析与处理、基于工程语义的图形理解以及一体化形体合成。

本书跨工程图学、计算机图形学、机械CAD等多个领域,可以作为有关科技工作者和研究生的参考书,特别是对于广大工程图学教师从教学走向科研具有很好的启发作用。

图书在版编目(CIP)数据

工程图样数字化转换与智能理解/陆国栋等著. —北京:机械工业出版社, 2001.4

ISBN 7-111-08758-5

I. 工… II. 陆… III. 工程制图:计算机制图 IV. TB23

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第06720号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘小慧 版式设计:霍永明 责任校对:李汝庚

封面设计:姚毅 责任印制:郭景龙

三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2001年5月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm $1/_{16}$ ·16.25印张·399千字

0 001—3 500册

定价:27.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

本书出版得到如下资助：

国家 863 高技术计划/CIMS 主题项目资助

(863-511-9842-006)

(863-511-9942-001)

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室开放基金资助

国家工科基础课程浙江大学工程制图教学基地资助

序

21 世纪已经来临！这是一个信息化的时代。在这个时代里，数字化、智能化愈来愈显示出其重要性。

有着工程界语言之称的工程图样，历来是表达设计思想的重要工具。在信息化时代里，工程图样的数字化已经成为必然。

工程图样蕴含着丰富的工程内涵，其智能理解涉及同维度（二维或三维）不同类型信息的转换与理解，低维度（二维）到高维度（三维）信息的转换与理解。

工程图样智能理解跨越工程图学、计算机图形学、机械 CAD、人工智能等多个领域，因此，工程图样数字化转换与智能理解既具有重要的理论和实用意义，又富有挑战性。

本书作者结合国家 863/CIMS 主题相关项目，在工程图样智能理解领域进行了富有成效的开拓性工作，并取得了以下丰硕成果：

1. 系统地提出了工程图样工程语义的层次划分准则和分类原则，设计了工程语义表达的数据结构，为工程图样智能理解和处理奠定了理论和算法基础；

2. 以尺寸标注理解为主线，对尺寸自动标注、多层次协同的尺寸检验、尺寸自适应处理等多方面进行了深入研究，技术上取得了较大突破；

3. 系统归纳了工程图样矢量化相关技术研究的进展，介绍了富有特色的整体识别矢量化方法；

4. 提出了基于工程语义的三维重建算法、尺寸标注理解算法、矢量化算法，达到了较强的自动处理图样的能力。

相信本书对于从事 CAD 和计算机图形学等相关领域研究的科技人员和研究生均有很好的参考价值。更希望本书能得到广大工程图学教师的响应，群策群力，不断深入，共同推动工程图学学科加速向前发展！

唐荣锡

2000 年 10 月 28 日

前 言

工程图样已在工业上应用几百年,在工业化进程中发挥了重要作用。工程图样是一代代工程技术人员智慧的结晶,它还将在相当长的时期内继续发挥作用,其中的经验积淀指导着将来的产品设计。在信息化进程中,很有必要将纸质工程图样转换为以计算机为媒介的数字工程图样,更有必要挖掘工程图样的经验积淀和工程语义用以指导将来的设计。

工程图样数字化转换是从计算机绘图开始的,通过人与计算机的交互,将工程图样的图线、尺寸、技术要求等图素输入计算机,属于串行模式,并以矢量文件形式予以存储;随着20世纪80年代出现扫描仪,工程图样数字化转换方式发生了根本变化,即一幅已有图样不论其复杂程度如何,总可以在若干秒时间内输入计算机,属于并行模式,并以光栅文件形式予以存储。

显然,通过扫描仪获得的是离散的二值化像素,完全失去了工程图样蕴含的几何信息与工程语义;通过人机交互方式获得的是离散的二维图素,几乎无法表达工程图样的工程语义。工程图样数字化转换只是初步解决了工程图样的存储问题,实际上人们更感兴趣的是解决工程图样的识别理解问题,从而实现工程图样的智能重用。根据识别理解与智能重用涉及对象和处理层次的不同,可以分为三个层次:

1. 基于离散像素信息的一维重建

光栅文件存储量大,且无法与CAD系统直接连接,因此光栅文件的矢量化就成为工程图样智能理解的第一个层次。这一层次主要通过识别理解重建工程图样的基本图素,如直线、圆弧、字符等,重建结果是矢量文件形式的线表、圆表、点表和尺寸字符表等,为后续的智能重用奠定基础。美国推出了R2V&ESP系统,德国推出了VPmaxNT系统,国内清华大学推出了相应系统,华中理工大学推出了EDIS系统,这些矢量化系统一般以细化跟踪算法为基础,浙江大学提出了整体识别算法。显然,光栅信息矢量化有很大难度,能否找到一条更为实用的技术路线?东北大学阿尔派以光栅/矢量混合编辑为基本思路,获得了巨大的成功。

2. 基于矢量文件的二维重建

通过不同途径得到了工程图样的二维矢量文件,同时工程图样的外在表现也是二维的,二维范畴转换就成为工程图样智能理解的第二个层次。这一层次主要实现图形拓扑信息与尺寸约束信息重建。二维形式的智能重用主要包括:修改尺寸,生成新的系列化图样——参数化;由于局部修改,需要进行重新标注——自适应尺寸标注;视图与尺寸的相互关系——尺寸标注的完整性、一致性等。唐泽圣、闵卫东等研究了尺寸标注网状文法和尺寸识别,吴永健、董国耀研究了尺寸合理标注问题,吴中奇等研究了尺寸智能标注问题,谭建荣提出了离线参数化技术,陈立平在二/三维参数化引擎方面进行了长期研究,本书介绍了我们在已有工作基础上在有关方面取得的最新进展。

3. 基于二维图样的三维重建

工程图样实际表达的是三维物体,二维工程图样到三维模型重建这一难题则成为工程图

样智能理解的第三个层次。这一层次是对工程图样表达的三维形体的完整理解,自从1973年 Idesawa 先生提出这一课题以来,已逾四分之一世纪,国外众多学者在这一领域进行了深入研究,国内清华大学唐泽圣、孙家广、陈玉健,浙江大学彭群生、应道宁,哈尔滨工业大学公茂凯,上海交通大学王东泉,重庆大学方卫宁,华中理工大学张海军等均在三维重建方面进行了研究工作,取得不少进展。分析现有算法,我们发现大多数算法过分注重重建过程,而对重建对象关注很少,我们认为有必要从工程语义入手实现图样理解,继而完成三维重建:

- 工程图样是三维形体的二维投影关系描述,因此需要研究投影关系语义;
- 尺寸标注隐含了三维形体的几何形状信息,因此需要研究尺寸约束语义;
- 工程图样具有约定俗成的一整套表达规则,因此需要研究表达方式语义。

三维形式的智能重用范围很广,如三维形体显示、实施三维装配、实现与 CAM 模块直接相连等。本书介绍了我们在 863 高技术计划项目支持下在工程图样理解方面取得的较大进展。

本书是多个 863 高技术计划/CIMS 主题项目研究成果的具体反映,本书成稿得益于浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室浓郁的科研氛围,得益于浙江大学工程制图国家级教学基地教学科研相互促进的有效机制。本书是我们在多年科学研究和研究生、本科生教学基础上,尤其是在浙江大学和国内外许多前辈工作的基础上,结合三位作者的博士学位论文,加以系统化、集成化、综合化而成的一部专著。

本书跨越从工程图样光栅输入开始到重建三维物体这样一个系统的进程,工程图样智能理解与智能重用方面的书籍尚不多见,本书的出版将有助于这方面工作的深入开展,期望有更多的学者从事该领域的研究。

本书第 1 章、第 11 至第 15 章由陆国栋撰写,第 2 章至第 4 章由李伟青撰写,第 5 章和第 6 章由黄长林撰写,第 7 章至第 10 章、第 15 章由张树有撰写,并由陆国栋、张树有统稿。

在本书付梓之际,我们要特别感谢中国工程图学学会理事长、北京航空航天大学唐荣锡教授对作者的指导并为本书作序,特别感谢我们的导师——浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室主任彭群生教授的指导和关怀,特别感谢浙江大学机械与能源学院副院长谭建荣教授的指导和帮助。

感谢周广仁教授、吴中奇教授、卓守鹏教授、应道宁教授、王尔健教授给予作者的指导,感谢阮建中、江涛、雷建兰、来建良、李月、卓勇等硕士生所作的工作,感谢董进、徐雷对我们工作的支持。

感谢我们的家人与亲人,衷心感谢所有帮助、支持我们的人们!

著 者

2000 年 10 月于求是村

目 录

序	
前言	
第1章 总论	1
1.1 引言	1
1.2 工程图样数字化转换的三种模式	1
1.3 工程图样智能理解与重用的三个层次	2
1.4 工程图样数字化转换与智能理解的研究方法	3
1.4.1 矢量化研究	3
1.4.2 尺寸信息的智能化处理研究	4
1.4.3 三维重建研究	7
第2章 工程图样的扫描输入和混合编辑	11
2.1 扫描转换的一般过程	11
2.2 图样的分块与拼接	15
2.3 图象的快速旋转方法	17
2.4 光栅与图形的混合编辑	19
2.5 本章小结	22
本章参考文献	23
第3章 工程图样矢量转换	26
3.1 基于细化的转换方法	26
3.2 基于轮廓跟踪与匹配的方法	34
3.3 基于整体识别的方法	35
3.4 其他矢量转化方法	48
3.5 本章小结	49
本章参考文献	50
第4章 矢量转换中的图符识别	53
4.1 字符的提取与识别	53
4.2 图样中符号的识别	60
4.3 矢量图形的调整	67
4.4 本章小结	73
本章参考文献	73
第5章 计算机尺寸标注方法	75
5.1 尺寸标注概述	75
5.2 尺寸标注分析	76
5.2.1 尺寸标注语义分析	76
5.2.2 尺寸标注参数分析及底层模块设计	76
5.2.3 尺寸标注模型	78
5.3 尺寸交互标注方法	79
5.3.1 交互标注过程分析	79
5.3.2 交互标注参数分析	79
5.3.3 交互标注智能化	80
5.4 尺寸参数化标注方法	82
5.4.1 参数化尺寸标注分析	82
5.4.2 尺寸驱动图形	83
5.4.3 新图形的尺寸自动标注	83
5.5 尺寸自动标注方法	84
5.5.1 尺寸自动标注方法分析	84
5.5.2 尺寸自动标注策略	85
5.5.3 基于分治思想的尺寸自动标注	86
5.6 本章小结	92
本章参考文献	93
第6章 工程图样参数化方法	94
6.1 参数化方法概述	94
6.2 参数化方法分析	95
6.2.1 约束	96
6.2.2 约束模型	97
6.3 程序参数化方法	98
6.4 交互参数化方法	100
6.4.1 基于数值迭代法(变动几何法)	100
6.4.2 基于符号推理方法(几何推理法)	102
6.4.3 基于图论的方法	102
6.5 构造过程法	103
6.6 离线参数化方法	105
6.7 图形的局部参数化	106
6.8 工程图样的参数化	107
6.8.1 工程图样的约束	107

6.8.2 面向多视图联动的参数化方法	108	9.1.3 多视图尺寸冗余度的判别	140
6.8.3 零件图、装配图一体化	109	9.1.4 多视图缺尺寸的检验	142
6.8.4 曲线(面)参数化	110	9.2 基于特征与工程语义对尺寸进行转换	143
6.9 本章小结	111	9.2.1 基于工程语义的尺寸派生	143
本章参考文献	112	9.2.2 尺寸的分解	147
第7章 尺寸的动态编辑与自适应		9.2.3 角度尺寸的转换	148
标注	114	9.3 图形的转换	149
7.1 概述	114	9.3.1 斜向投影的转换	149
7.2 标注域的自动分区	114	9.3.2 铸造圆角的转换	149
7.3 尺寸的关联性与尺寸的自动分层	116	9.4 基本体经尺寸转换的有向图	150
7.4 尺寸的动态关系模型	116	9.5 不完整几何体经尺寸转换的有向图	151
7.5 基于图形环境信息的尺寸动态编辑与自适应处理	118	9.6 零件层尺寸检验的实现	152
7.5.1 关联尺寸间的动态编辑与尺寸关系模型的相应变化	118	9.7 本章小结	155
7.5.2 关联尺寸的动态自适应处理算法	119	第10章 装配层配合尺寸的继承与检验	
7.5.3 非关联尺寸间干涉的自适应处理	122	与检验	156
7.6 本章小结	126	10.1 概述	156
第8章 几何层尺寸标注性理解	128	10.2 装配模型	157
8.1 概述	128	10.3 装配层尺寸的约束与关联	158
8.2 空间基坐标的建立	128	10.4 尺寸匹配的自组织	159
8.3 单投影平面向多投影平面转换	130	10.4.1 配合尺寸约束的几何元素匹配	159
8.3.1 逻辑主视投影平面的确定原则	130	10.4.2 尺寸匹配的自组织	160
8.3.2 单投影平面向多投影平面转换	130	10.5 不同层次间的多向驱动机制	160
8.4 几何层尺寸的标注性理解	132	10.6 基于装配层的配合尺寸继承判别	161
8.4.1 基坐标对应面及不必标尺寸	132	10.6.1 配合尺寸与空间基坐标	161
8.4.2 视图上几何元素间的关联特征	133	10.6.2 基于装配层的尺寸继承检验算法	162
8.4.3 几何层尺寸的可标注性理解	133	10.7 本章小结	166
8.5 本章小结	137	第7章至第10章参考文献	166
第9章 零件层尺寸完整性判别	138	第11章 工程图样工程语义分析	169
9.1 基于图论的多视图尺寸完整性判别原理	138	11.1 机械图样工程语义的层次划分与分类	169
9.1.1 多视图与空间基坐标	138	11.1.1 机械图样的特征	169
9.1.2 尺寸与基坐标关联的有向图描述	138	11.1.2 工程语义层次划分与分类	170
		11.2 尺寸约束语义	170
		11.2.1 显式尺寸语义	170
		11.2.2 隐式尺寸语义	171
		11.3 投影关系语义	173
		11.3.1 显式投影语义	173

11.3.2 隐式投影语义	176	13.2.2 投影有省略基元识别	208
11.4 表达方式语义	178	13.3 基于工程语义的组合基元关系 识别	208
11.4.1 显式表达方式语义	179	13.3.1 工程形体基元类型	209
11.4.2 隐式表达方式语义	182	13.3.2 工程形体基元关系分析	211
11.5 本章小结	183	13.3.3 工程形体基元关系识别	212
第 12 章 工程图样工程语义处理	184	13.4 组合基元中基元体的形状识别	215
12.1 工程语义处理策略和前置处理	184	13.4.1 基元关系引导的基元体 形状识别	216
12.1.1 工程语义处理策略	184	13.4.2 隐式语义引导的基元体 形状识别	217
12.1.2 视图划分和尺寸预分离	185	13.5 尺寸功能语义引导的基元体 形状识别	218
12.1.3 坐标系建立	186	13.6 本章小结	220
12.2 表达方式处理	187	第 14 章 一体化形体合成	222
12.2.1 视图识别	187	14.1 基元与形体合成	222
12.2.2 视图关系图建立	190	14.2 基元关系转换与基元形位调整 技术	222
12.2.3 视图关系图逆变换	191	14.3 面向相交关系的形体合成	224
12.3 投影关系处理	194	14.4 面向平面立体截切关系的形体 重建	227
12.3.1 线素的拼接和打断	194	14.4.1 三视图表达的平面多面体 重建	227
12.3.2 连通域的提取	195	14.4.2 多视图表达的平面多面体 重建	234
12.3.3 几何元素投影关系链	196	14.5 一体化形体合成技术	234
12.4 尺寸约束处理	198	14.6 本章小结	236
12.4.1 建立尺寸树	198	第 11 章至第 14 章参考文献	236
12.4.2 尺寸约束图形链	199	第 15 章 实例与研究展望	240
12.5 图形尺寸合成网络	200	15.1 实例	240
12.6 本章小结	201	15.2 研究展望	246
第 13 章 基于工程图样工程语义的 三维重建	202		
13.1 基于工程语义三维重建策略	202		
13.1.1 工程语义与三维重建	202		
13.1.2 三维重建策略	203		
13.1.3 三维重建具体步骤	203		
13.2 简单基元识别	205		
13.2.1 线性拉伸体基元识别	205		

第 1 章 总 论

1.1 引言

听觉和视觉是人类获取信息的主要渠道,在此基础上,人们通过大脑思维进行信息的综合、想象等处理并作出相应的决策。计算机作为 20 世纪最伟大的发明,同时又是到目前为止我们所能得到的唯一的自动化、智能化工具,已经或正在逐步拥有听觉、视觉甚至触觉、嗅觉等获取信息的能力和智能处理信息的能力,并在很大程度上物化和延伸了人类的脑力活动。

从听觉来看,计算机已经具有较强的语音识别能力;从视觉来看,根据对象不同又可分为文字识别和图形理解,印刷体文字识别已经达到商业化水准,手写体文字识别也已经达到实用水平,因为文字识别总有一定的模板可以参照,而图形真可谓是千变万化,相对而言图形识别理解则要困难得多。面向工程应用的图形识别理解可以分为三大类:

- 1) 光栅图象到矢量图形的矢量化:将工程图样通过扫描仪转换为数字化光栅图象,进一步可将得到的光栅图象转化为矢量图形;
- 2) 相同空间维数之间的图形理解:包括在二维的工程图样上进行的图形、尺寸识别理解及其参数化处理,在三维模型中进行的特征识别等;
- 3) 低维空间到高维空间的图形理解:从二维的工程图样通过理解重建三维形体。

可以看到,工程图样是面向工程应用图形理解的主要处理对象,工程图样是工程界的技术语言,工程图样已经在工业上应用几百年,并且在工业化进程中发挥了重要的作用。无图时代并不是无图样时代,只是工程图样载体发生了质的变化,工程图样在数字信息化社会中将继续发挥重要作用。

1.2 工程图样数字化转换的三种模式

工程图样数字化转换的出发点是纸质的工程图样,其任务是将非数字化的工程图样转换为计算机的数字表达。工程图样数字化转换有三种模式:

1. 基于人工的工程图样→矢量图形

这是通过人工介入将二维工程图样直接转换为二维矢量图形的模式。

一般用鼠标、键盘和数字化仪等交互设备通过交互绘图软件逐步生成矢量图形,也可以通过编程直接绘制矢量图形。这种模式的优点是,对计算机及其外围设备要求不高,学会绘图较为容易;这种模式的缺点是,需要大量的人工参与,过程比较繁琐,不利于充分发挥设计人员的创造性。

针对这种模式的缺点,根据系列化设计的特点,发展了参数化绘图技术,此项技术包括两方面,其一是在交互作图过程中同步建立参数化模型,称之为在线交互参数化技术;其二

是对于任何系统生成的二维矢量模型通过理解自动建立参数化模型，称之为离线参数化技术。另一方面，必须找到已有工程图样的数字化转换的有效方法。

2. 基于人工的工程图样——→三维模型——→矢量图形

这是通过人工先由二维工程图样生成三维立体模型，再从三维模型得到二维矢量图形的模式。

三维模型由人工介入通过三维造型软件交互完成，二维矢量图形的投影包括视图生成、尺寸标注，这些在很大程度上还需人工介入。这种模式的优点是，由于生成了三维模型，因此易于与后续 CAD 系统相连接，生成工程图样只是整个系统的部分功能；这种模式的缺点是，如果仅仅为了得到工程图样而进行三维造型，一方面三维造型不易进行，另一方面由三维模型到工程图样的自动化转换还存在许多困难。

3. 基于扫描仪的工程图样——→光栅图象

这是通过扫描仪将二维工程图样自动转换为二维光栅图象的模式。

用扫描仪将工程图样直接进行扫描处理，转化为计算机易于处理的图象，这是最初的结果。然后再对图象进行矢量转换操作，并提取出工程图样中的各类线型，使计算机能对工程图样作进一步的理解。用这种方式，可以并行处理大幅面、很复杂的工程图样，能将工程图样中的各类信息进行分类识别，在对扫描输入的图象及矢量转换结果作必要的修改之后，工程图样的数据就能够为 CAD、CAM 系统所使用。这种模式的优点是，因为数字化转换是自动进行的，因此速度很快；这种模式的缺点是，需要增加额外硬件投入，矢量转换又成为一个新的“瓶颈”。

1.3 工程图样智能理解与重用的三个层次

由于工程图样是二维的，因此工程图样智能理解的出发点显然是二维模型，包括二维光栅图象和二维矢量图形，工程图样智能理解的本质在于数字模型之间的数字化转换。

工程图样智能理解可以分为三个层次：

1. 光栅模型——→矢量模型

如上一小节所述，通过扫描仪可以自动得到工程图样的光栅表示，由于光栅模型无法融入 CAD 模型，因此必须将其转换为矢量模型，即矢量化。

2. 二维模型——→二维模型

智能理解在二维矢量图形中进行，主要有如下类型：

· 二维视图模型——→二维尺寸模型

主要涉及尺寸标注处理、尺寸动态编辑与自适应处理、几何层尺寸标注性理解、零件层尺寸完整性判别、装配层配合尺寸的继承与检验。

· 二维固定模型——→二维参数化模型

主要涉及从二维矢量图形得到尺寸驱动的二维参数化模型的离线参数化技术。

· 二维零件模型——→二维装配模型

主要涉及零件图模型与装配图模型之间的模型转换。

3. 二维模型——→三维模型

工程图样每个视图的外在表现是二维的，但所有视图共同表达的产品显然是三维的，工

程图样智能理解的最终目标应该是重建三维立体。

如果考虑更广泛的图形理解，其出发点还可以是三维，图形理解又可以分为两类：

1. 三维模型——→三维模型

主要包括三维边界模型到三维特征模型的特征识别，三维形体模型到三维尺寸模型的三维尺寸模型自动生成，三维模型的运动模拟与干涉检查，三维固定模型到三维参数化模型的三维离线参数化等。

2. 三维模型——→二维模型

许多人以为三维模型到二维模型的转换相当简单，其实并不尽然。三维到二维的转换包括形体转换和尺寸转换两个方面，目前在很大程度上还需人工介入，这方面的研究相对较少：

在形体转换方面主要涉及：如何确定形体放置位置、决定主视图投影方向？选用几个视图来表达？每个视图采用什么表达方法？

在尺寸转换方面主要涉及：尺寸应该标注在哪个视图上？尺寸应该如何排列？尺寸如何随图形投影表达的变化而改变？

限于篇幅，本书不讨论从三维出发的图形智能理解问题。

1.4 工程图样数字化转换与智能理解的研究方法

本书内容可以依据智能理解的三个层次划分为三大部分：第2章到第4章为光栅模型到矢量模型的矢量化；第5章到第10章为二维模型之间转换的尺寸理解；第11章到第14章为二维模型到三维模型转换的三维重建。

1.4.1 矢量化研究

1. 图样转换的两个层次——识别与理解

图样的图象信息转换成图形信息的过程，包含识别层和理解层这两个层次的含义。

识别层是一个比较低级的层次，它的主要目的是将图样的图象数据变换成相应的几何元素，通常以点、直线、圆、圆弧等基本几何元素为实现目标。对于字符的处理，只局限于识别出它们的含义。如果将矢量转换过程比喻为两种语言之间的翻译的话，这一层次的处理相当于“直译”。在这一层次，通常并不需要考虑转换的结果是否符合制图规则，也不必顾及各要素之间的相互关联。

相对于识别层而言，理解层属于比较高级的层次。这一层次要解决的主要问题是，初步理解工程图样各要素之间的关联性，包括建立各几何要素之间的位置关系和拓扑关系，识别基本几何要素之上的特征要素，如尺寸框架对零部件的约束，理解公差及表面粗糙度的具体含义等。

2. 信息处理的两个阶段——图象信息的分离与图形信息的重组

为了实现图样数据的两个层次的转换，必须完成图象信息的分离与图形信息的重组这两个阶段的任务。

图象信息的分离通常是在对图样进行矢量转换之前完成的。由于直线、圆等基本几何要素的处理方法与字符及其他符号的处理方法截然不同，因此必须预先将它们实行分离。为了实现对图样的正确理解，在经过了低层次的矢量转换之后，又必须将各类要素进行有机结

合,实现图形信息重组,产生图样的各类特征要素,从而为进一步的后续处理(如基于矢量转换的三维重建和参数化)提供数据。

3. 处理方法的两种模式——混合编辑与自动转换

混合编辑和自动转换是两种完全不同的处理模式。

作为一个以实用化为最终目的的矢量转换系统,以光栅与矢量的混合编辑来代替自动矢量转换,是一个行之有效的方法。通过用户对计算机的交互操作,可以实现图象(光栅)与图形(矢量)之间的相互转换,同时,还可以利用图象、图形各自的编辑功能,实现对现有图样的修改。与此相对照,自动化的——尽管不可避免地要做一些交互预处理和后处理——矢量转换除了实现其基本的转换功能外,还能有效提高图样处理的效率,并实现与其他CAD系统的完美结合。

4. 转换方法的两个着眼点——局部算法与整体算法

现有的各类矢量转换方式,基本上可以分为两大类:局部算法和整体算法。

局部算法通常以像素为处理对象,在考察数据之间的相互关系时,也只限于像素四周一个很小的局部范围。基于细化的方法是最典型的局部算法。由于处理过程过于注重细节,因此,图象中局部的不合理信息(如噪声、气泡等)必然被夸大,同时,高于像素层次的基本几何要素的提取及其相互关系(几何的和拓扑的)的建立也会产生困难。但是,它们通常都具有算法稳定性好、比较容易实现的优点,因此,常被用于商品化的转换系统中。

整体识别方法将像素进行有机的组合,构成新的处理单位,这样,可以从宏观上把握图样中各类几何要素的几何信息和拓扑关系,更利于图样转换的高级层次——理解层——的实现。它的不足之处是:缺乏对细节的必要处理,从而可能导致局部细节的不完善。

5. 算法实现的两种手段——软件实现与硬件实现

现有技术以软件实现为主,但可以看出,处理方法的硬件化也是发展趋势之一。因为图象处理的数据量非常庞大,利用软件实现的图象处理算法,其速度并不能令人十分满意。可以设计专用的二值图象处理器,将算法表达为易于硬件化的查表方式,将查表过程通过硬件的逻辑运算加以实现。

1.4.2 尺寸信息的智能化处理研究

尺寸是工程图样的重要组成部分。近年来,随着参数化设计研究的不断深入,尺寸与图形的关系愈来愈显示出其重要性。尺寸信息的智能化处理可以分为两大类:一类是标注过程智能化处理,另一类是标注理解处理。从标注过程智能化处理来看,可以将尺寸标注划分为五个层次,即底层模块层次、常规交互标注层次、智能型标注层次、参数化标注层次、自动标注层次,如图1-1所示。

自动标注	理想水平	(有了图形就有尺寸)
参数化标注	系列化图形自动标注	(图形与尺寸一体化)
智能型标注	输入信息量明显减少	(尺寸与图形联系紧密,尺寸标注与标注过程等因素有关)
常规交互标注	一般水平	(尺寸与图形有联系,图形是尺寸依附的根本,有了图形才有尺寸)
底层模块	编程标注初级水平	(尺寸标注与图形可以完全分离,没有图形也可以有尺寸)

图 1-1 尺寸标注智能化的层次

显然,对任一尺寸标注系统而言,它所能达到的层次反映了系统的智能化和自动化程度,较高层次的模型往往建立在较低层次模型的基础之上。

从尺寸理解处理来看,我们重点讨论尺寸信息的自动检验及尺寸位置的自适应处理问题。

1. 基于多层次协同的尺寸信息检验

由于尺寸具有三维约束特性,它代表空间某几何的量值,但实际表达时,尺寸却又寄生在某方向的二维投影图上,这样就存在尺寸与图形表达在维数上的不一致;同时,尺寸存在工程语义且不同层间(装配层与零件层)尺寸相关等。要将尺寸与图形的表达统一到同一维数来进行判别,有两种方法:一是在三维层次上对尺寸进行检验;二是在二维层次上对尺寸进行检验。

三维层次进行尺寸检验存在的难点是图形表达具有多样性,特别是复杂图形、不规则形状重建十分困难,而且一旦局部重建产生偏差,往往影响整体信息的重建。即使建立了三维信息,仍然存在尺寸合理性、完整性等检验,更何况三维重建又希望利用合理、正确的尺寸信息来帮助理解。

二维层次的尺寸检验需要对尺寸进行二维解释。对于具有尺寸特征、工程语义的尺寸是易于实现的,如直径、球尺寸、螺纹等尺寸可进行二维分解;而其他尺寸与图形表达密切相关,无法通过自身的分解来解释。

可见,产品尺寸信息的检验要基于某一层次信息在同一维数下实现具有较大困难。实际上,人在进行尺寸检验时,充分利用了各层次信息,将图形表达、尺寸表达结合起来,优先考察那些易于识别和转换的信息,并将各层次、不同维的信息协同起来进行判别。

图 1-2 给出了多层次协同的尺寸检验的各层次的关系。装配层与零件层通过配合尺寸进行继承性检验,零件层的几何层与特征层统一建立空间映射面,将尺寸层中具有特征、工程语义及复合尺寸统一转换解释成便于判别的单向、单个尺寸。然后协同各个层次的尺寸,并基于图论进行检验,当出现冲突时,表明尺寸存在不合理或冗余标注。

(1) 基于图论的零件层尺寸完整性检验

目前 CAD 系统主要支持尺寸信息的生成,而尺寸的完整性、合理性等需人工进行检验与判别。我们建立的空间基坐标与三维物体上几何元素成映射而和视图数无关,这样将多视图中的尺寸与空间基坐标对应起来,并统一由有向图来描述。考虑到工程图中截交、相贯、相切等形成的几何元素不能标注尺寸,另一方面由于尺寸表达形式的多样性且具有工程语义,为将尺寸统一到空间基坐标三个方向来进行判别,对尺寸语义、非线性的尺寸进行转换。尺寸的转换包括:尺寸的派生、尺寸的分解、角度尺寸的转换、图形的转换、斜视图的旋转转换等。

尺寸经派生、分解等转换后,零件尺寸完整性判别统一转化为与视图数无关的有向图求解问题,为零件层多视图尺寸冗余、缺尺寸的判别提供了理论依据。

(2) 基于装配层配合尺寸继承的尺寸合理性检验

面向零件的 CAD 系统,难以对尺寸的合理性进行检验。因为尺寸标注合理与否,不仅与零件本身有关,而且还与该零件在整个产品中的位置和作用相关。特别是在同一产品中相互配合的零件的配合尺寸,在各自零件图中的标注必须一致,否则即使该零件的尺寸标注完整了,最后加工出来还是废品。因此,尺寸的合理性检验必须基于产品装配模型。在分析装配层尺寸约束与关联、配合尺寸参数约束的识别与自组织的基础上,提出了基于装配层配合

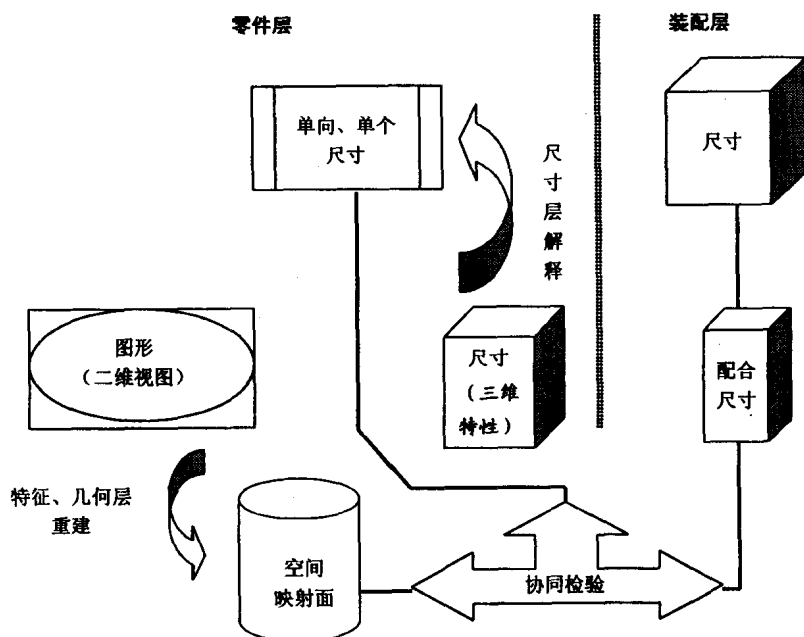


图 1-2 多层次协同的尺寸检验

尺寸继承的尺寸检验方法。这不仅解决了零件间具有直接匹配的尺寸合理性分析，而且可通过尺寸约束与空间基坐标的传递，实现不同标注形式的配合尺寸的继承与检验。

2. 尺寸的自适应处理

尺寸除约束冲突外，尺寸与尺寸之间标注的位置也常发生冲突，特别是在参数化设计中，尺寸值的变化、图形几何大小的变化，不同规格图形的尺寸位置是动态的。因此，必须协同尺寸间的标注位置。

协同尺寸间位置的冲突，涉及几何层、尺寸层及它们之间的关联。由于尺寸表达形式多样，图形千变万化，这样就必须从零件的几何层、尺寸层中找出内在的动态关联性，为实现尺寸自适应标注模式创造条件。

(1) 几何层尺寸的图形环境信息

根据几何层信息，获取视图的内外域，实现尺寸标注域的自动分区，为尺寸的关联性判别及尺寸的布置提供基础。

(2) 尺寸层尺寸间的动态关系模型

尺寸的关联性与尺寸所在的视图序、标注方向、标注域相关，通过尺寸的关联性判别，建立相关联尺寸的位置层次性。在此基础上，自动生成尺寸的动态关系模型。

(3) 动态自适应算法

在关联尺寸中删除、插入、移动尺寸或尺寸参数值修改而引起尺寸发生变化，都可能造成尺寸位置冲突或不合理。结合尺寸标注环境优越度，通过动态自适应处理算法自动形成尺寸的重新关联与定位。

3. 尺寸检验与处理过程

图 1-3 给出了尺寸检验与自适应处理各部分之间的信息流及相互联系。产品设计信息可

以来自不同的 CAD 系统, 通过 DXF 图形文件转换, 获得产品零件与装配信息。可实现产品尺寸信息的完整性、装配层配合尺寸合理性检验及尺寸的动态自适应处理。

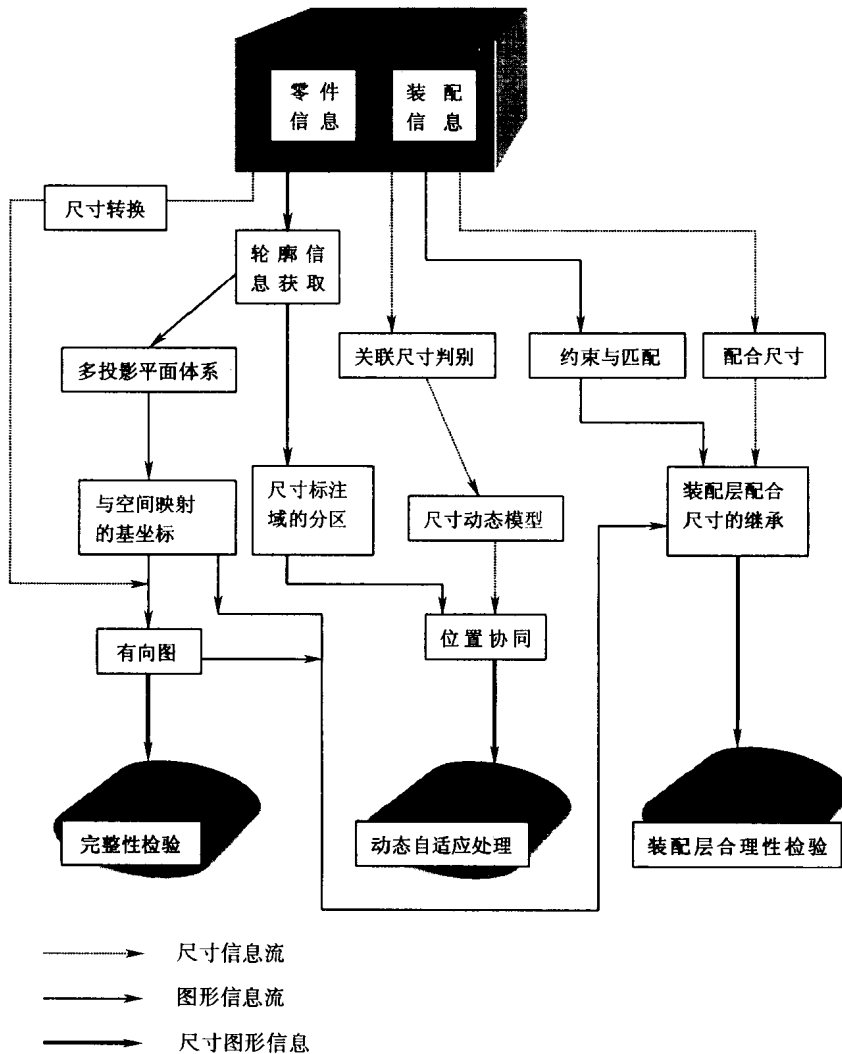


图 1-3 处理的信息流

1.4.3 三维重建研究

1. 直接面对实际工程图样

当人们解决一个复杂问题的时候, 一般的做法是先将其简化而后求解, 或是将其分解为几个简单的问题, 分而治之。简化了的问题解决以后, 把它推广到一般情况, 就可以处理复杂的问题。三维重建的研究也不例外, 现有的各种算法都不可避免地实际的工程图样进行不同程度的简化、抽象。

在大多数已有算法中, 按以下几种方式处理的图形可称得上是高度抽象的:

- 1) 工程图被简化为三视图, 三个视图出现在预先规定好的位置上;
- 2) 所有投射射线在三个视图都表达出来, 但不包括点画线;
- 3) 图上只有三个投影视图, 没有任何标注、尺寸等附加信息;