

面向图样理解的工程语义获取技术研究

岳小莉 陆国栋 叶金荣 谭建荣

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 在工程语义分类基础上, 首先探讨了3类工程语义在图样理解中的作用和关系, 即表达方式工程语义是前提, 投影关系工程语义是核心, 尺寸约束工程语义是引导; 然后, 着重介绍了工程语义的分类获取和整合获取技术, 包括表达方式、投影关系、尺寸约束工程语义的分类获取技术, 以及相切、相贯、截交工程语义的整合获取技术, 并以一系列“元组链”及“约束状态链”的形式对工程语义进行重新组织; 最后以一个实例说明工程语义获取技术在图样理解过程中的应用情况。该方法已成功应用于作者研制的图样理解原型试验系统, 并取得了很好的效果, 试验结果表明, 该方法不仅可以简化图样理解的复杂程度, 还可以提高识别、处理的速度和计算机理解的可靠性。

关键词 工程图样 识别理解 工程语义 分类获取 整合获取

中图分类号: TP301.2 TP391.72 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)07-0672-07

Research on Engineering Semantics Extraction Technology for Engineering Drawings Understanding

YUE Xiao-li, LU Guo-dong, YE Jin-rong, TAN Jian-rong

(State Key Lab. of CAD & CG at Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract This paper is concerned with the problem of intelligent understanding of engineering drawing. The presented method is based on the engineering semantics classification. The contribution of different kind of semantics and the relationships among them in engineering drawings understanding are firstly discussed, namely, expression mode semantics is the premise, projection relation semantics is the kernel and dimension constraint semantics is the elicitation. Then the technology of engineering semantics obtaining and the corresponding integration are mainly introduced, thus the functional semantics expressed through the engineering semantics information could be obtained. In the end, complete details are provided to illustrate the identification of simple features and the combined relationship among the primitives using this approach. This method has been successfully used in the prototype system and the expected results have been got. It shows that the drawing understanding could be simplified, the recognition and processing could be speed up, and furthermore, the understanding reliability could be enhanced by using the technology.

Keywords Engineering drawings, Understanding, Engineering semantics, Classification obtaining, Integration obtaining

0 引言

工程图样识别理解的研究已有近30年的历史, 国内外学者已就其各个环节提出了多种行之有效的算法^[1], 包括细化、矢量化、图文分割、尺寸识别理解^[2,3]、三维重建^[4]等, 然而, 图样理解离人们的期望

还有相当的距离。以机械工程图样为例, 不仅要求识别、区分出其中的几何元素、尺寸标注以及文字说明等分离的工程语义信息, 还需要识别出这些分离语义信息之间的内在逻辑关系及其所表达的整合语义功能, 以便进而重构形体的三维模型。

从图样识别理解问题的本质来分析, 由于图形信息的高层理解是试图用计算机来模拟人类智能的

基金项目: 国家 863/CIMS 主题(863-311-9842-006); 国家自然科学基金项目(69878038); 浙江省自然科学基金项目(696045)

收稿日期: 2001-05-14; **改回日期**: 2001-09-04

过程,它必然受到人工智能和知识工程学科进展的约束。因此要实现对图形的理解,必须解决以下 3 个方面的基本问题:

(1) 必须对图形本身进行深入的研究与分析

三维重建作为图形理解的一个重要分支,虽研究历史很长,但进展不大,其原因恰恰就是忽视了对图形本身的研究,即忽视了对图样工程语义的重要作用,而将注意力过分集中于重建过程中;

(2) 必须将研究对象限制在一定范畴中

由于数字计算机的局限以及人类对自身认知过程缺乏模式化的描述方法,要建立通用的图形理解系统相当困难,因此缩小问题求解的范围是必要的;

(3) 必须对识别过程进行合理分解

图样理解过程是一个多种知识、多种方法综合运用过程,为了提高计算机识别的速度和可靠性,一个有效的方法就是对识别过程进行合理化分解,使之既符合人的读图思维,又便于计算机的处理。

基于以上分析,本文将图形理解限定在机械工程图样(本文主要讨论零件图)范畴内,同时对其进行了深入的研究与分析,将图样理解这一过程划分为工程语义分类及其相互关系分析、工程语义分类获取以及工程语义整合获取 3 个步骤(其中,工程语义分类及其层次划分是建立在前期研究工作的基础上^[5,9]),以便较好地理解图样中的工程语义信息所直接表达或隐含表示的语义功能,也为进一步的高层理解打下基础,最后将工程语义获取技术应用于工程图样理解过程。

1 工程语义分类及其相互关系

由于工程语义具有隐含性、经验性和习惯性,因此工程语义形式化较为困难,但形式化是对工程图样进行理解的重要前提。文献[5]将工程语义划分为表达方式语义、投影关系语义和尺寸约束语义;其中的每一层次又根据信息表达的深度分为低层的显式语义和高层的隐式语义,工程语义信息的分类及其层次结构如图 1 所示。

该分类方法以工程图样的投影表达过程为依据,即在形体组成关系分析基础上,首先确定表达方式,然后明确投影关系,最后标注相关尺寸。而在图样理解过程中(即形体投影过程的逆过程)往往需要通过综合利用这 3 类语义信息来想像出由它们所表达的三维形体。

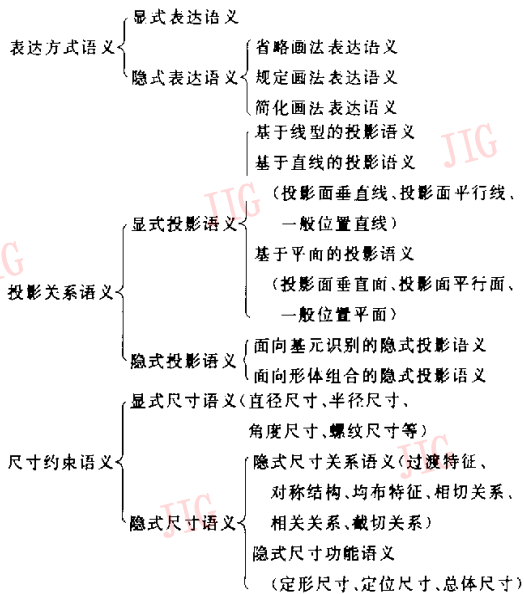
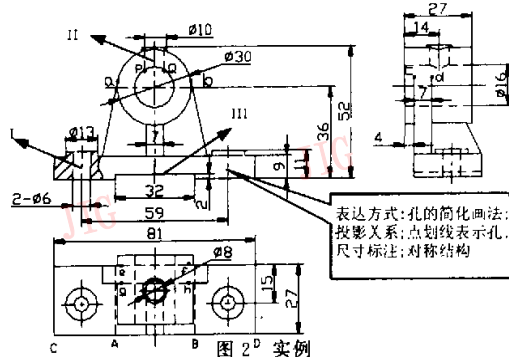


图 1 工程语义层次划分与分类

从考察 3 类语义信息间的相互关系来看,各类显式工程语义之间是相对独立的,而各类隐式工程语义之间却存在着相互渗透、相互制约的关系^[5]。现以图 2 中的图样为例来说明它们的关系,由图 2 可见,对称结构特征的简化画法(隐式表达方式语义)和中心线(隐式投影关系语义)互相渗透、交互作用,这表明了通孔结构的存在。



由此可见,在图样识别理解中,表达方式语义是前提,投影关系语义是核心,尺寸约束语义则在整个过程中起引导和辅助作用。

2 工程语义信息的分类获取技术

本文使用的数据源是 DXF 格式的中性图形数

据交换文件,在读入数据时,根据文件中的组码,将图形元素、尺寸标注以及文字说明分离开来,并分别放入不同的链表。

2.1 表达方式语义获取

由于不同工程图样中所含有的视图数目和类型不尽相同,并且数据文件中的数据没有固定的存放顺序,因而在获取表达方式语义以前,需要进行视图的预处理,该预处理主要包括视图划分和主视图识别两项。在此基础上,可以进一步获取表达方式的相关语义,如视图类型识别以及视图关系建立等,有关这部分内容的具体处理技术在文献[8]中已有详细论述,这里不再赘述。

2.2 尺寸约束语义获取

图样中的几何元素根据其受尺寸约束的情况(包括直接尺寸约束和通过投影关系的间接约束)可以分为受约束几何元素和未受约束几何元素两类。由于其中未受约束的圆或圆弧将有助于后续的识别理解工作^[6],因此在进一步获取相关的语义信息之前,首先需对所有圆和圆弧对象的尺寸约束情况进行搜索和判断,进而建立起如下一系列相关的约束状态链表:

受约束圆链:存放所有有直接或间接直径类尺寸约束的圆;

未受约束圆链:存放所有无直接或间接直径类尺寸约束的圆;

受约束圆弧链:存放所有有直接或间接半径类尺寸约束的圆弧;

未受约束圆弧链:存放所有无直接或间接半径类尺寸约束的圆弧;

未受约束斜线链:存放所有无直接或间接线性尺寸约束的斜线;

未受约束连通域链:存放所有无直接或间接线性尺寸约束的连通域。

2.2.1 显式尺寸语义信息的获取

由于显式尺寸语义信息大多在尺寸的文字中含有特殊的标识符号(见表1),因此从尺寸的文本信息中,可以快速地这类语义区分出来。

表1 显式尺寸语义中的特殊标识

尺寸类型	前缀特征	后缀特征	可能的形体类型	备注
直径尺寸	∅	无	圆柱、圆锥、环体	Sφ 出现球体
半径尺寸	R	无	圆柱	SR 出现球体
角度尺寸	无	°	出现斜面	
倒角尺寸	无	X°	出现圆锥体	
螺纹尺寸	M、Tr、SG、ZG	无	出现螺纹	

2.2.2 隐式尺寸语义信息的获取

隐式尺寸语义分为如下两类:一类是反映特征位置分布的语义,包括过渡特征隐式语义、分布特征隐式语义以及对称结构隐式语义等;另一类是用于反映形体间的组合关系,如相切结构、相贯线以及截交线等隐式尺寸的语义,这几种隐式语义在视图表达上各具特点,例如分布特征在标注时,往往只在一处标注,并标明特征的总数,如“4-∅12”中的“4-”。其中圆盘类形体上的分布特征,以圆周分布为主,矩形类形体上的分布特征,以线性或阵列为主。对于这两类分布特征,相应地有直径类和线性类的定位尺寸与各分布特征的中心相对应。通过对这些隐式语义的分析,可以对其进行显式化转换,下面以分布特征隐式语义的转化过程为例来进行说明。首先将前面得到的受约束圆链、未受约束圆链、受约束圆弧链以及未受约束圆弧链赋值,依次分别为 C-Dim[], C-U-Dim[], A-Dim[], A-U-Dim[]。获取步骤如下:

步骤1:依次搜索 C-Dim[]中的圆,找出尺寸文本前缀带有“n”的元素,记作 C₁,并记录 n 的值以及该圆的直径 d,转下一步;

步骤2:依次搜索 C-U-Dim[]中的圆,找出所有直径等于 d 的元素,并记录其个数 n₂,转下一步;

步骤3:判断 n₂ 是否等于 n,若是,转步骤5;否则,转下一步;

步骤4:首先找出直径等于 d 的元素的圆心,并判断它们与 C₁ 的圆心之间是否存在一定的分布规律,例如在同一个圆上,成阵列分布或线性等距分布等,然后选择满足此条件的 C-U-Dim[]中的元素,并记录下它们之间的分布规律,转步骤6;

步骤5:找出直径等于 d 的元素的圆心,并判断它们与 C₁ 的圆心之间所存在的分布规律(例如在同一个圆上,成阵列分布或线性等距分布等),记录下此分布规律,转下一步;

步骤6:根据特征的分布规律,分如下两步对隐式语义进行转化:(1)定形尺寸的转化,即将 C₁ 的直径尺寸 d 复制到相应的分布特征中,使得每一个分布特征都具有显式的直径尺寸信息;(2)定位尺寸的转化,伴随着分布特征的存在,必然能在其中找到相关的定位尺寸,对于圆特征,则表现为圆心之间的尺寸约束信息,可依据不同分布规律的特点,对其进行线性或圆周对称分解,并将之添加到每个分布特征成员中,使其具有显式的定位尺寸信息,算法结束。

图3(a)为一个具有上述3种隐式语义的图例,

图 3(b)为隐式语义转化后的结果。

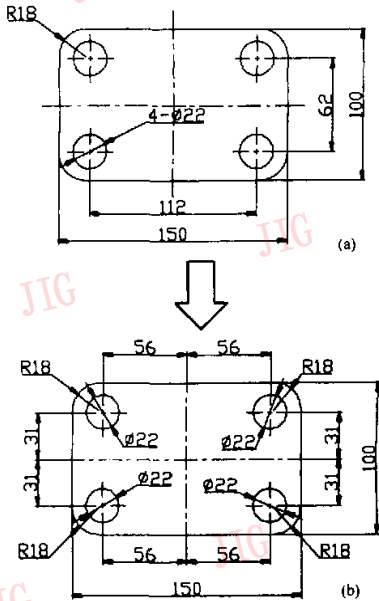


图 3 隐式尺寸约束语义的显式化转换

同样,针对相切结构、相贯线以及截交线等隐式尺寸语义信息所隐含的结构特征,也可以采用相应的方法加以转换。

2.3 投影关系语义获取

通常,从 DXF 文件得到的原始数据,由其构成的不是一个平面图(指以视图中各图线的端点为结点,图线为边所形成的图),且图线之间的交点并不一定是各条图线的端点。由于以这样方式存在的数据将直接影响计算机对图素的识别和处理,因此在获取投影关系语义之前,有必要对图样中的图素进行重新整理。这种图素整理包括图素的拼接和打断,其拼接和打断需视不同的目的而定。具体实施中,主要遵循以下原则:

(1) 直线打断的基本原则 如果直线 CE 的一个端点(设为 C)落在另一条直线 AB 上,则将 AB 打断为 AC 和 CB 两段,并把 AB 、 AC 和 CB 都保留在图形数据库中,但两直线交叉时不打断;

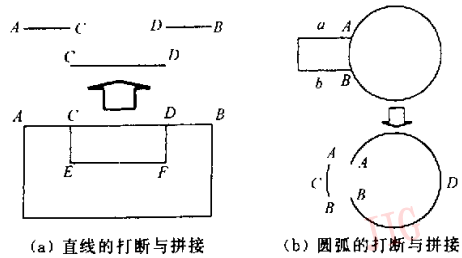
(2) 直线拼接的基本原则 两直线部分重合或者端点重合,且倾角和线型相同;

(3) 圆弧打断的基本原则 如果有两条或两条以上的直线 a, b, \dots ,它们都有一个端点落在圆弧上,则在交点 (A, B, \dots) 处把圆弧打断,打断后产生的子

圆弧和原来的圆弧都保留在图形数据库中;

(4) 圆弧拼接的基本原则 两圆弧的圆心、半径、线型相同;部分重合或者端点重合。

直线与圆弧的打断与拼接如图 4 所示。经过这样的处理,就可以按照“三等定律”对各几何元素进行投影匹配,进而获取相关的投影语义信息。



(a) 直线的打断与拼接 (b) 圆弧的打断与拼接

图 4 直线和圆弧的打断与拼接

2.3.1 显式投影语义的获取

显式投影语义主要针对具有不同空间位置的直线和平面在视图中的投影特性,可以根据其二维投影在各视图中的分布情况来推断出它们的实际状态。例如,当某一视图中的点与其他两个视图中的直线满足投影匹配关系,即有投影关系组: {点, 直线, 直线} 存在时,则可推断出该投影关系组代表的是空间的一条投影面垂直线。这样,借助于一系列相应的“显式投影关系组链”就可以得到视图中的显式投影语义。

2.3.2 隐式投影语义的获取

隐式投影语义针对的是视图图中的一些特殊几何元素(包括点、线、圆、圆弧以及连通域等),通过对它们的识别可以挖掘更多更深层次的工程语义。这里主要介绍以下 3 种与形体组合关系相关的隐式投影语义的获取技术。

(1) 与相切相关的隐式投影语义获取

相切组合关系通常会在某个视图图中出现切点、切线或孤立点(见图 5),其中切线总是以切点为其某一端的端点,这样,通过判断视图中的点是否为切点,并搜索是否存在以其为端点的直线或圆弧,就可以获取与相切有关的隐式投影语义。

(2) 与相贯相关的隐式投影语义获取

这里主要考虑圆柱与圆柱的相贯。相贯组合关系在视图中的表现是无尺寸直接或间接约束的劣圆弧或斜线(当发生相贯的两圆柱体直径相等时,见图 5(d)),这类几何元素的识别可以直接从未受约束圆弧(或斜线)链中得到。

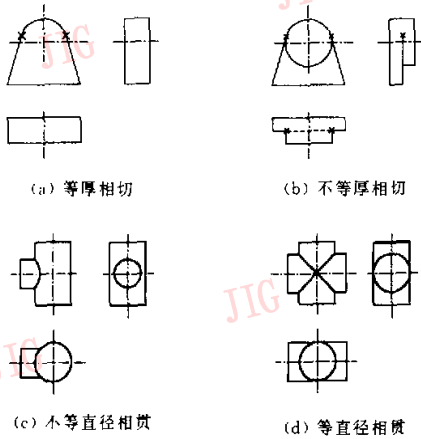


图5 相切与相贯图例

(3) 与截交相关的隐式投影语义获取

截交组合关系在视图中表现为未受约束的连通域,同样,它的获取途径来自于未受约束连通域链。从以上几种隐式语义信息的获取中可以看到,由于图纸中几何元素的受约束状态对一些隐式语义的获取具有直接的帮助作用,因此可以将对具有这类语义的几何元素的搜索限制在一个较小的范围内,以提高搜索速度和识别的可靠性,这也正是本文建立一系列几何元素“约束状态链”的原因。

3 工程语义的整合获取技术

应用上述方法获取得到了各类显式工程语义以及部分隐式工程语义,如分布特征的分布规律、代表相切等组合关系存在的未受约束圆弧等,然而由于

这些以离散方式存在的信息还难以提供一个完整而清晰的概念,因此必须对它们进行整合处理,即将存在于不同视图中的、表达同一语义功能的语义信息进行关联,以进一步将它们所隐含的语义信息“显式化”,从而为图样的高层次理解奠定基础。下面仍以形体间几种主要组合关系为例来说明工程语义整合获取的方法。

3.1 相切工程语义的整合获取

大家知道,相切在图样上最直接的表现是孤立点与切点的对应(如图5(b)所示),基于这一认识,首先将每一个切点与对应的孤立点关联成点组;再把切点相同,而孤立点不同的点组关联成点元组。如图2所示,存在4个点组: $\{a, e, c\}$, $\{a, g, d\}$, $\{b, f, c\}$, $\{b, h, d\}$ 和两个点元组 $\{\{a, e, c\}, \{a, g, d\}\}$, $\{\{b, f, c\}, \{b, h, d\}\}$ 。

由于孤立线出现的地方就意味着切线的“可能存在”,同时切线的有无也代表了相切关系的存在与否,因此,为了便于计算机的识别和处理,需要将其补充完整。现以非平齐相切为例来说明切线的补全方法:取一个点元组,首先判断两个集合中位于同一视图中的两个点所在的两条直线是否是某线性尺寸的尺寸界线,如果是,则把对应的孤立点进行连接,以得到一条切线;接着,需要按照投影匹配关系,对该补全的切线在另一视图中的投影进行补充;最后将切点和对应的补全切线关联成相切元组,至此就完成相切语义功能的获取。经过整合处理,不同视图中的语义信息即被关联起来,并表达了特定的工程语义,从而实现了对此一语义的理解。图6为图2经过相切整合处理后的结果,A、B、D分别是根据上述

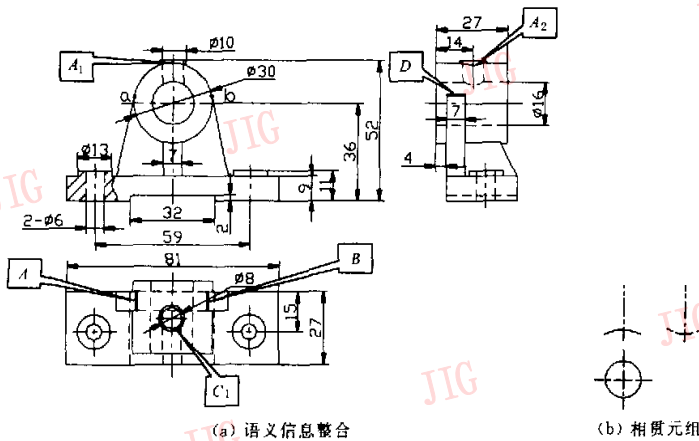


图6 表达相切和相贯关系的语义信息整合处理

方法得到的补全切线,该图样中有两个相切元组: $\{a, A, D\}$ 、 $\{b, B, D\}$ 。如果图样中存在多个相切元组,则建立相应的相切元组链。

对于平齐相切,其切线无需补出,这时可以将平齐相切的两个组成部分当作同一个部分来处理。

3.2 相贯工程语义的整合获取

不等直径圆柱相贯在图样中最明显的特征是满足如下条件的圆弧:(1)无尺寸约束;(2)夹角小于 180° ;(3)被中心线垂直平分;(4)在其他视图中的投影落在某个圆或圆弧上。

相贯工程语义的整合获取时,首先依次搜索“未受约束圆弧链”中的元素,然后根据投影匹配关系将其在不同视图中的几何元素进行整合,最后建立相应的相贯元组及相贯元组链。如图6(a)所示, A_2 是一条未受约束圆弧,圆弧 A_1 和圆 C_1 是其在另两个视图中具有投影匹配关系的几何元素,经过整合处理即得到一相贯元组: $\{A_1, A_2, C_1\}$ (见图6(b)),它代表了一种相贯组合关系的存在。

3.3 截切工程语义的整合获取

实际零件中经常出现的截切情况为圆柱体或平面体被平面截切的情况。现以圆柱体的截切为例,其截平面在图样上具有以下两个明显的特征:

(1)若视图中存在一条两 endpoints 落在受约束圆上的直线,且无尺寸直接或间接约束,则该直线可能是某个截切面的积聚性投影(见图7(a)~(d)),也可能是截切面边界的投影(见图7(e)、(f))。

(2)对图7(a)~(d)而言,截平面投影三元组为{直线,直线,环};对图7(e)、(f)而言,截平面投影三元组为{直线,环,环},其在3个方向上投影元素的最大包围盒满足“三等原则”。

把在三视图中满足上述条件的几何元素进行整合即可得到截平面元组,如图7(a)中的直线 L_1 、 L_2 和环 C_1 关联为组 $\{L_1, L_2, C_1\}$,就代表了一种截交组合关系的存在。同样,可以建立相应的截平面元组链。

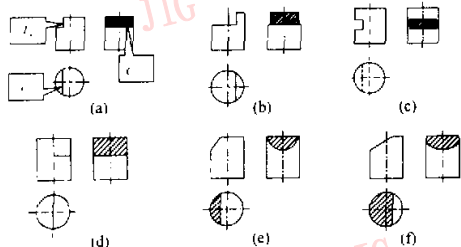


图7 截切示例

4 工程语义在图样理解中的应用

在复杂组合体的识别理解中,由于简单从属体特征(如孔、槽等)和存在于各成员体素间的组合关系在二维视图中的投影是对计算机识别产生干扰的主要因素,因此对二者者的识别也成为最终能否识别组合体的关键所在。在这一部分,本文利用前面介绍的工程语义分类获取技术和整合获取技术来对图2所示组合体中的简单从属体特征和各形体间的组合关系加以识别理解,并以此为例来说明这一技术的实际应用情况。

4.1 简单体特征的识别及提取

图2所示组合体上的简单从属体特征为I(完整通孔)、II(相贯孔)、III(直槽)。现以完整通孔的识别和处理为例来介绍简单体特征的识别及提取,这里通孔(简单旋转体的一种)的侧视投影特征为对称分布于某中心线两侧的两条直线,且直线与中心线的距离等于相应的尺寸约束值。通过分析,本文建立了识别简单旋转体侧视投影图素的识别算法。该算法以“受约束圆弧链”中的元素作为识别线索,算法如下:

步骤1:从受约束圆弧链中取出一个元素,计算其圆心 P_i 和半径 R_i ;

步骤2:搜索毗邻视图中与 P_i 投影相关的中心线 L_c ;

步骤3:在 L_c 所在视图中搜索满足下面条件的直线段——端点到 L_c 的垂直距离为 R_i 的直线段;

步骤4:离散线段连接;

步骤5:获取受约束圆的侧视投影要素,算法结束。

同理,可以获取简单旋转体的俯视投影图素。最后,将获取得到的3个视图中的投影图素进行整合即得到简单旋转体的投影元组,并将之放入简单旋转体投影元组链中。

对于相贯孔,则是以未受约束圆弧链中的元素为识别线索,按照类似于上述的方法来搜索相关的投影元素,并进行整合,进而建立相应的相贯孔投影元组及相贯孔投影元组链。

应用这种技术,即可建立常见简单从属体特征的投影元组链,链中的元素分别代表不同的简单从属体特征。其识别出的具有简单从属体特征的相关图形数据信息仍需要从图形数据库中提取出来,以简化后续的认识工作,这时可得到一个中间结果,而

这个中间结果通常为零件的主体结构,图8即是图2经过上述处理后的中间结果,显然,这时的图样已大大地被简化了。

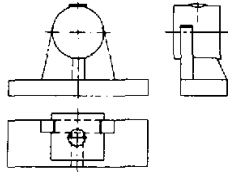


图8 从属体特征提取后的中间结果

4.2 形体间组合关系的识别理解

在经过简化处理的图样中,形体间组合关系的投影“痕迹”更加明显,这时就可以利用前面获取的与各组合关系相关的语义信息来进行形体间组合关系的识别理解。图9(a)和(b)分别是以相贯元组和相切元组(参见图6)为识别依据来进行这两种组合关系分析的起始状态。通过这样的处理,就可以获得组合关系的隐式投影语义,进而为各形体的识别打下基础,以便最终实现复杂组合体的识别理解。

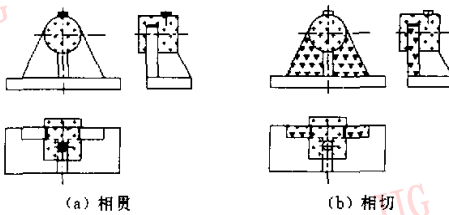


图9 组合关系分析

5 结论

对工程语义信息之间内在逻辑关系及其所表达功能的理解是图样理解的前提,也是正确理解图样的关键所在。本文在对图样中的工程语义进行分析的基础上,分类获取图样中的工程语义,并通过对所获取语义信息的整合处理来进一步理解其所表达的语义功能。该方法已成功应用于笔者开发的图样理解原型试验系统,并取得了很好的效果。

与以往的研究方法相比较,由于本方法是根据人的读图思维方式,将图样理解过程分解为便于计算机识别和处理的阶段,从而赋予了计算机以人的智能性。此外,识别过程的分解也有利于提高计算机识别理解的针对性和可靠性,以便为后续进一步更高层次的理解工作奠定坚实的基础。下一步将开展对复杂零件以及对具有多种表达方式(如剖切、

局部视图等)的复杂形体的识别理解研究。

参考文献

- 1 Dov Dori, Kari Tombre. From engineering drawings to 3D CAD models: Are we ready now? [J]. Computer-Aided Design, 1995, 27(4):243~254.
- 2 Dov Dori. A syntactic/Geometric approach to recognition of dimensions in engineering machine drawings [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989, 47:271~291.
- 3 闵卫尔,唐泽圣,唐龙. 工程图尺寸标注的网状文法[J]. 软件学报, 1994, 5(7):1~10.
- 4 Weidong Wang, Georges G. Grinstein. A survey of 3D solid reconstruction from 2D projection line drawings [J]. Computer Graphics Forum, 1993, 12(2):137~158.
- 5 陆国栋. 基于工程语义的三维重建方法研究[博士学位论文][D]. 杭州:浙江大学, 1999, 12.
- 6 岳小莉, 陆国栋, 谭建荣. 基于多层次模式匹配的三维重建方法研究[J]. 模式识别与人工智能, 2000, 13(3):320~326.
- 7 陆国栋, 彭群生. 基于工程图样语义的基元关系识别研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(9):700~704.
- 8 陆国栋, 晏群, 彭群生. 面向图形理解的工程语义研究[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5A(10):861~867.
- 9 陆国栋, 彭群生. 三维重建新方法和新技术[J]. 高技术通讯, 2001, 11(3):58~61.



岳小莉 1971年生,博士研究生,主要从事三维重建、工程图样计算机理解、人工智能与模式识别等方面的研究。



陆国栋 1963年生,1999年获浙江大学博士学位,教授,浙江大学工程及计算机图形学研究所副所长。主要研究领域为智能CAD、三维重建、工程图样计算机理解等。



叶金荣 1974年生,2001年获浙江大学硕士学位。主要从事工程图样计算机理解、三维重建以及计算机网络等方面的研究。

谭建荣 1954年生,1992年获浙江大学博士学位,教授,博士生导师,浙江大学机械工程与自动化系主任,中国图象图形学报编委。主要从事产品信息建模、CAD、计算机图形学、工程信息可视化等方面的研究。