

专著 西北工业大学
出版基金 资助项目
ZIZHU XIANGMU

ZHUANZHU

计算机解释立体线图的方法与实践

高满屯 储珺 董黎君 著

ZHUANZHU

西北工业大学出版社

西北工业大学出版基金资助项目

计算机解释立体线图的方法与实践

高满屯 储 珺 董黎君 著

西北工业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机解释立体线图的方法与实践/高满屯, 储珺, 董黎君著. —西安: 西北工业大学出版社, 2009. 11

ISBN 978-7-5612-2669-8

I. 计… II. ①高…②储…③董… III. 机械制图: 计算机制图 IV. TH126

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 198163 号

出版发行: 西北工业大学出版社

通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072

电 话: (029) 88493844 88491757

网 址: www.nwpup.com

印 刷 者: 陕西丰源印务有限公司

开 本: 787 mm × 960 mm 1/16

印 张: 15.875 彩插 2

字 数: 344 千字

版 次: 2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

前 言

925846237777

在二维投影平面上表示三维物体的轴测投影图或透视投影图称为立体线图。立体线图一直是人与人之间以及人与计算机之间交换三维物体(或场景)信息的一种重要媒介。立体线图作为设计者创意表达以及设计交流的工具,在产品的概念设计过程中被大量采用。概念设计的主要目标是获得产品基本形式或形状。这一阶段的工作对其他阶段有着重要的影响,一旦确定了占设计工作 10% 左右的概念设计,也就确定了 75% 左右的产品设计。人们理解一幅三维物体或场景的立体线图毫不费力,但对计算机来说,理解一幅立体线图就存在很大的困难。计算机自动解释线图是计算机视觉系统和计算机辅助设计(CAD)系统研制中的一个重要问题。

线图标记作为一种行之有效的手段,在由立体线图重建物体三维结构中起着重要作用。通过线图的一致性标记可排除许多不可能的场景结构,并对立体线图所代表的物体进行预测,减少立体线图定量分析的工作量。由于噪声、光照、纹理等影响,从图像中抽取的立体线图往往是不完整的;当设计人员绘制复杂物体的立体线图时,也经常会遗漏一些线段或多画出一些线段。因此,对不完整立体线图分析尤为重要。

本书的研究内容有:“流形”平面立体和“流形”曲面立体完整画隐立体线图的标记技术;“流形”平面立体和“流形”曲面立体的不完整画隐立体线图(有遗漏线段和节点)的标记和补线技术;多线画隐立体线图(有多余线段和节点)的删线和标记技术;从正轴测投影和透视投影画隐线图恢复平面立体三维结构;基于各种二维基元从画隐立体线图恢复平面立体的机理和算法。

作者陆续承担了国家自然科学基金、陕西省自然科学基金和江西省自然科学基金有关计算机解释立体线图的机理等课题的研究工作。本书反映的是作者所做工作和取得的成果。

全书共分为 11 章。第 1 章介绍计算机解释立体线图研究的问题,从线图定性分析和线图定量分析两个方面阐述计算机解释线图的发展现状以及存在的问题。第 2 章介绍二维和三维直线的表示原则,给出在透视投影和正轴测投影下三维直线表示的方法,采用 ObjectARX 技术提取用 AutoCAD 软件绘制的线图中直线段的端点坐标,介绍一种多回路平面线段的分割和参数提取算法。第 3 章论述平面立体完整画隐投影线图的标记理论和方法。第 4 章介绍平面立体不完整画隐立体线图的标记和补线技术。第 5 章论述曲面立体完整画隐立体线图的标记理论和方法。第 6 章介绍曲面立体不完整画隐立体线图的标记和补线技术。第 7 章介绍不完整画隐立体线图的标记、删线和补线技术。第 8 章给出对画隐立体线图的基本假设,介绍从

画隐立体线图识别面的理论和方法。第9章分析立体线图的平面结构和空间结构,介绍基于点面或点线关系解释立体线图的技术。第10章介绍基于线线关系解释立体线图的技术。第11章介绍基于线面关系解释立体线图的技术。

本书由高满屯统稿。高满屯撰写第1,3,7~9章,储珺撰写第2,10,11章,董黎君撰写第4~6章。

研究计算机自动解释立体线图是一项比较困难的工作,由于作者水平有限,书中难免存在缺点和不足,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2009年5月20日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机视觉与线图解释	1
1.2 线图解释的研究现状和存在问题	3
1.3 本书的研究内容和章节安排	19
第 2 章 直线表示和线图中线段参数提取	22
2.1 表示直线的原则	22
2.2 二维直线表示方法	22
2.3 三维直线表示方法	23
2.4 提取用 AutoCAD 软件绘制线图上的直线参数	29
2.5 图像轮廓曲线的分割及参数提取	30
2.6 本章小结	40
第 3 章 平面立体完整画隐线图的标记	42
3.1 基本假设	42
3.2 线图分类	43
3.3 线图标记	44
3.4 画隐线图标记算法	54
3.5 线图标记算例	59
3.6 本章小结	62
第 4 章 平面立体不完整画隐线图的标记和补线	64
4.1 不完整线图	64
4.2 L 型节点分析	65
4.3 “—”字型节点分析	69
4.4 不完整线图标记和补线算法	71
4.5 算例与分析	77

4.6 本章小结	87
第5章 曲面立体完整画隐线图的标记	88
5.1 基本假设	88
5.2 曲面立体完整自然线图的标记	89
5.3 曲面立体完整画隐线图的标记	92
5.4 曲面立体完整画隐线图的标记方法	103
5.5 曲面立体完整画隐线图标记算例	105
5.6 本章小结	107
第6章 曲面立体不完整画隐线图的标记和补线	109
6.1 L型节点分析	109
6.2 “一”字型节点分析	112
6.3 不完整画隐线图标记和补线算法	112
6.4 不完整画隐线图标记和补线算例	114
6.5 本章小结	122
第7章 不完整画隐线图的标记、删线和补线	124
7.1 多线画隐线图的删线和标记	124
7.2 一般不完整画隐线图	133
7.3 本章小结	143
第8章 从画隐线图识别面	144
8.1 基本概念	144
8.2 基本定理和推论	146
8.3 凸凹多边形的判别	149
8.4 回路搜索算法	151
8.5 由多个离散图表示的物体	151
8.6 画隐线图的数据结构	153
8.7 从平面立体画隐线图识别面的算法	153
8.8 本章小结	160
第9章 基于点面或点线关系的线图解释	161
9.1 线图的结构	161
9.2 基于点面关系的线图解释	166

9.3 基于点线关系的线图解释	171
9.4 本章小结	183
第 10 章 基于线线关系的线图解释	185
10.1 基本约束	185
10.2 线图的自由度	191
10.3 画隐线图的解释	193
10.4 有误差线图的解释和校正	194
10.5 本章小结	202
第 11 章 基于线面关系的线图解释	203
11.1 基本约束	203
11.2 正确画隐线图的解释	209
11.3 有误差画隐线图解释的迭代方法	211
11.4 本章小结	228
参考文献	230

第1章 绪 论

本章首先介绍计算机视觉和计算机解释线图的研究问题,然后从线图定性分析和线图定量分析两个方面详细阐述计算机解释线图发展现状以及存在的问题,最后介绍本书各章的安排。

工程物体信息的构思、记录和传输一般是以视觉语言(图形和图像)来描述的。视觉语言是一种可视化的语言。若物体的形状不能简化到用口头或书面语言来描述,则需要用视觉语言即非口头的图形和图像来描述。

1.1 计算机视觉与线图解释

1.1.1 计算机视觉

计算机视觉是研究用机器代替人的眼睛和大脑,对客观世界进行视觉感知和解释的一门学科。

20 世纪 70 年代,Marr^[1]在美国麻省理工学院从事视觉理论方面的研究,逐步形成了关于视觉的计算理论。这一理论从信息处理角度系统概括了心理物理学、神经生理学、临床神经病学等方面已取得的成果。Marr 的视觉计算理论使计算机视觉研究有了一个比较明确的体系。

人们生活在三维(3D)世界中,三维场景投影在人视网膜上是二维(2D)图像,视觉是从二维图像中提取出有关的三维世界信息。按 Marr 的理论,这“有关的三维世界信息”主要是指二维图像所反映的场景中三维物体形状和空间位置的定量信息。Marr 将整个视觉过程分成三个过程,即早期视觉、中期视觉和后期视觉^[1-2]。

早期视觉即由输入图像获得要素图。所谓要素图主要指图像中灰度变化剧烈的位置、几何分布和组织结构,用到的特征有角点、直线和曲线等。这一阶段把原始二维图像中重要的信息更清楚地表示出来了。

中期视觉是由输入图像和要素图获得 2.5 维(2.5D)图。所谓 2.5 维图指在以观测者为中心的坐标系中,物体可见表面的法向、大致的深度以及它们的不连续轮廓等,用到的特征有可见表面上各点的法向、距观测者的距离即深度、表面法向上的不连续点等。中期视觉由一些相对独立的模块组成,这些模块包括体视、运动、由明暗恢复形状、由轮廓线恢复形状、由纹理恢复形状等。

后期视觉主要是获得物体的三维表示。所谓物体的三维表示指在以物体为中心的坐标系

中,含有体积特征和面积特征的模块化分层次表示、各物体之间空间关系的描述等。

计算机视觉的研究已经历了从实验室走向实际应用的发展阶段。从简单的二值图像处理到高分辨率多灰度的图像处理,从一般的二维信息处理到三维视觉机理、模型和算法的研究都取得了很大的进展。而计算机技术水平的飞速提高以及人工智能、并行处理和神经网络等学科的发展,更促进了计算机视觉系统的实用化。计算机视觉系统广泛应用于视觉检测、机器人的视觉引导、物体识别、目标跟踪和自动化装配等领域中。

线图解释是计算机视觉研究中的一个重要问题。

1.1.2 线图解释

线图解释是计算机视觉和模式识别的一个重要研究领域。线图的解释就是根据物体(或场景)的一幅或多幅投影图像理解三维空间中的景物。理解三维空间中的景物,对于高度进化的人类视觉而言,是一件比较容易的事情,但是,要用计算机来模拟这一过程,却是一项极其困难的工作^[3]。

线图是物理成像的结果,忽略了表面材质等细节。物体上的边缘在图像上的投影形成线图,其描述了物体的形态。相对于灰度信息来说,边缘信息更具有可靠性,边缘特性(方向和位置)较少受到光照条件等因素的影响。Barrow^[4]指出边缘特征是推导三维空间物体形态最基本的依据,线图的计算机解释是一个典型的人工智能问题,需要引入更多的知识和假设。虽然线图仅仅是由平面上的一些线段组成,但它表达了三维物体结构的许多信息,人们可以很容易地理解线图所表达的物体。

线图一直是人与人之间以及计算机之间交换三维物体(或场景)信息的一种重要媒介。在很多情况下,人们可以用线图来描述物体的三维形状。线图主要有正投影图、轴测图、透视图、仿射图、射影图和非线性投影图等。它主要包含6个方面的功能^[5]:

- (1)设计工程物体的几何和拓扑形式。
- (2)设计者思想交流的工具。
- (3)作为一个分析工具。
- (4)模拟设计工具。
- (5)充当一个检验工具。
- (6)设计者短期记忆的一个扩充工具。

在工程设计的概念设计阶段,设计者经常画出立体线图(草图)^[6-8],且需要反复对设计进行修改,目前具有强大功能的CAD系统只能对设计的详细过程提供很大的帮助,而处理草图的能力极弱,也不能直接将线图转换为三维物体结构信息,不便于在工程设计的概念设计阶段使用。

随着科学技术的发展,人机之间用图形进行通信日益受到重视,在许多场合显示出其重要性。为使计算机能“看”懂物体投影线图,需要研究计算机解释投影线图的机理^[9]。

计算机分析、处理和理解线图的研究成果可用于互联网、CAD系统中的人机通信接口、逆

向工程及计算机视觉系统中,能缩短图形输入时间,减轻人机通信中“人”的工作量。

1.2 线图解释的研究现状和存在问题

在计算机视觉中,从图像恢复三维景物信息的主要方法之一是从图像中抽取出场景的线图,再根据线图来解释三维景物信息。人非常容易理解场景的线图,但要使计算机理解场景的线图却并不容易。

计算机解释线图主要分为5个阶段:

- (1)将草图(概念设计)或图像(计算机视觉)转换为线图。
- (2)对线图进行标记,得到线图的拓扑结构。
- (3)从线图识别物体的面,得到线图对应的三维物体拓扑结构。
- (4)依据一定的知识,判别线图中哪些直线对应的空间直线是平行的或垂直的,哪些区域对应的空间平面是平行的或垂直的等。
- (5)恢复三维物体的结构。

将草图或图像转换为线图是图像处理中主要研究的问题之一,已经有大量的将草图或图像转换为线图的方法^[10-31]和系统^[6,32-38]。

Jenkins^[6]的二维草图输入和整理软件可以自动检测草图的对称性,但平行性和其他约束需要通过菜单选取,软件不能解释草图。Mitani^[34]的称为JMSketch的草图程序可以将草图转化为线图。Eggl^[37]也研制了一个二维草图程序。Pavlidis^[38]的草图程序通过增加约束可以将草图美化(beautification),约束线段长度相等、线段斜率一致、共线性等。该程序特别要求有一些避免各种缺陷的负约束,如两条线段是交叉的,则必须有一个保证两条线段斜率不同的负约束。

在线图中一般规定:可见线段用实线表示,不可见线段用虚线表示。在画法几何学中,人们一直研究三维物体的线图,即如何在二维平面上描述物体的三维结构,并已形成了成熟的理论和方法。而对其逆问题——如何由线图重构三维物体结构——的研究是在计算机能处理图像数据以后才引起人们的重视的。

由于多种原因,如设计者画的线图(草图)可能不准确或有错误,从图像中一般也不能准确抽取场景的线图(由于噪声、光照、纹理等的影响),输入计算机的线图(草图)或从图像抽取的线图一般是杂乱无序的,经常存在少线、多线的现象,因此需要对线图进行分析和处理,删去多余的线,补上缺少的线,整理位置不正确的线,等等,使之尽可能是三维物体的真实投影图,以利于后续计算机解释线图、恢复三维物体结构的顺利进行。

对线图进行标记和从线图识别物体的面属于对线图解释的定性分析,判别线图中线、面的平行或垂直关系及恢复三维物体的结构属于对线图解释的定量分析。

1.2.1 线图解释的定性分析

对线图进行标记和从线图识别物体的面属于对线图解释的定性分析。

1. 线图标记

线图标记法作为一种行之有效的辅助手段被用于解释三维景物,对平面立体和曲面立体引入线和节点的标记是有效的,标记类型覆盖了各类平面立体和曲面立体所有的有效投影。人们已经提出了一系列的线图标记方法。

Roberts^[39]最早研究线图解释,他提出了建立目标模型和匹配理解的方法,并应用于物体识别。各个平面立体的模型由其多边形形成的特征集组成,输入图像经分析处理可以形成线图,将其与能从不同观察点作透视变换的模型进行匹配,选择最佳的匹配作为识别结果。由于这种方法知道了目标属于哪种模型,也可以提供任何观察角度下这种模型的成像,Robert 选择了一个简单的形体域,它包括立方体、长方体、楔形以及六棱柱。该系统要求较强的假设,即成像物体完全分离,能完全提取线图,而且存放的目标有限。该系统不适宜于识别多类目标,当存在隐藏边时要增加计算量,这种方法为基于模型的线图解释提供了基础,使物体可以从一定数量预定义好的模型中获得。

Guzman^[40]提出了 SEE 程序,这个程序不需要预先存储模型,可以从线图识别平面立体。这个程序第一次引入了启发性知识,同时首次用符号处理代替数字匹配过程。这个程序适合处理大多数复杂线图,该程序的不足之处在于难以分析、预报物体性能,不能识别有洞的目标。

Huffman^[41]和 Clowes^[42]针对三面顶点组成的平面立体,各自独立地提出了自然线图(不画出隐藏线)标记技术,物体上每一个顶点是三个相交平面的交点,对于所有不同的顶点类型以及可能具有的不同的观察方式,三个平面相交于一个顶点的方式只有 4 种,如图 1.1 所示。采用理论方法对线图中节点处线的结构进行分析,给直线赋予 4 种标记:“+”“-”“→”“←”,其中“+”表示物体上的凸棱;“-”表示物体上的凹棱;“→”和“←”表示物体上的遮挡棱,物体上交于遮挡棱的两个平面中只有一个平面可见,规定沿着箭头方向可见面总位于该棱线的右边。从三个角度看图 1.1(a)的顶点,可以得到图 1.2。他们的主要贡献在于列举了节点处线的类型的所有可能结构,这是一个很小的集合,只有 16 种合法节点形式,其中有 3 种 Y 型节点、3 种 W 型节点、6 种 L 型节点和 4 种 T 型节点。

Waltz^[43]对此进行了扩充,首先他把 Huffman 和 Clowes 的 4 种线段标记(+、-、→、←)扩展到包括阴影、裂缝以及可分离的凹边;其次,他用一个巧妙的滤波算法代替简单的穷举搜索一致的线段标记,这种算法检查图形中的邻近结合点,并且放弃那些不相容的候选标记。

Huffman-Clowes 线图标记方法是一个约束满足问题^[44],解决该方法的方法有松弛算法^[45]、三层^[46]和四层^[47]神经网络方法、改进的 Hopfield 网络方法^[48-49]、快速并行算法^[50]、规划算法^[51]等^[52-57]。

Kirousis^[58]指出,甚至对简单的三面顶点平面物体的自然线图,线图标记问题都是一个 NP 完全问题,当已知灭点时,线图标记算法的复杂性为 $O(Nn)$, N 为线图中直线的数量, n 为灭点的数量。Kanatani^[59]在理论上证明 Huffman-Clowes 线图标记算法的复杂性为 $O(2^n)$,但 Parodi^[60-63]和 Kirousis^[64]在实际程序实践中证明,只要选取合适的算法,线图标记的复杂程度一般是和线图的节点数目成线性增长的,即复杂性一般为 $O(n)$ 。Parodi^[65]在 Huffman-

Clowes 线图标记的基础上增加了 6 个新的节点标记形式。

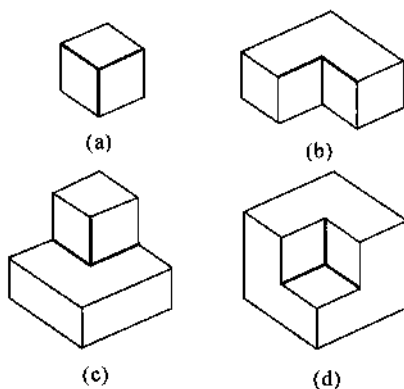


图 1.1 4 种顶点的类型

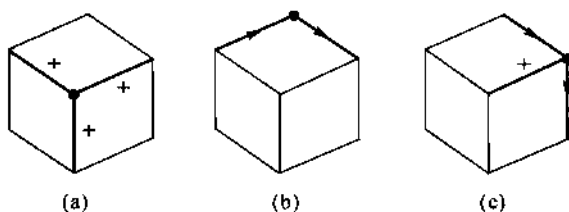


图 1.2 从三个角度看图 1.1(a)顶点的投影图

以上的标记方法只适用于三面顶点物体的线图。Varley^[66-67]给出了四面顶点物体线图的节点标记形式和线图自动标记的算法,其中,W 型节点形式多达 28 种(相应于三面顶点物体线图的 L 型节点),算法的复杂性在理论上和实践上均为 $O(2^n)$ 。Varley 认为只考虑标记约束传播的可能性而不考虑几何特性的线图标记方法是不充分的,提出一种新的利用启发式线索对线图进行标记的算法,同时得到节点的深度信息。Varley^[68,69]后面的研究又采用了组合算法,他的实验证明在含有 535 条线的线图中,采用组合算法可以正确标记 428 条线,而采用松弛算法只能正确标记 388 条线。Varley^[70]还分析了包含 K 型节点的线图标记问题。

Lamb^[71]尝试识别三线对应物体的三轴线,选择了一个参考端点,就可以确定沿线的其他端点的传播距离,分析了判断隐藏节点的拓扑方法。Varley^[72]发展和概括了 Lamb 的方法。Alevizos^[73]指出标记含有隐藏线的平面立体线图的复杂性为 $O(n)$ 。

Pugh^[74]的算法不仅需要画出所有的线,而且需要用户指出哪条线是可见的,哪条线是隐藏的。他介绍了四面顶点立体的节点分类,考虑把此方法直接扩展到五面顶点的立体和具有更多的面顶点立体的节点类型。

Kanade^[75,76]考虑纸折体的情况,证明了线图具有某些对称性时可从其推断出物体的三维

形状,在他的对象集中,还包括了平面立体的室内景物。

Grimstead^[77]提供了一种基于自然线图的解释原型系统。它包含五部分的内容:增加线标,二维线图整理,使用线性系统转化成三维物体,恢复隐藏部分,三维线图整理。Sanker^[78]介绍了处理隐藏线段的方法。

Sugihara^[79]的标记法可以标记画出隐藏线的线图,但线图中隐藏线的画法有些不符合人们的画图习惯。鲁^[80-81]修正了 Sugihara 的标记方法,给出了能标记符合人们画图习惯的线图标记方法,分析了一些特殊的曲面立体,得到了关于曲面立体画隐藏线图的新型节点形式。

Trytien^[82]提出一个从灰度图像得到标记线图的算法。算法由 4 个模块组成:边缘检测、区域分割、曲线分组和线的标记。系统的鲁棒性来源于系统的完成是一个综合的框架,一个模块的误差可以由其他模块提出的约束来诊断和修正。该系统可以从分段物体的灰度图像中产生一个初始的线图标记,但要求物体具有光滑的表面,没有斑点和纹理。

曲面立体线图的线条标记不像平面立体线图的线条标记那样简单,合理的节点形式很多。Turner^[83]讨论了光滑曲面立体的标记情况,导出了有好几万之巨的顶点基元库,不利于计算机进行检索和匹配。Chakravarty^[84]提出了一种基于区域的曲面立体标记技术,可处理多种类型的曲面立体,且顶点分类只有 7 种,远比 Turner 的标记技术简单。按照 Chakravarty 的分类方法,曲面立体仍然为三面顶点立体,节点类型包括 V, W, Y, T, A 和 S 型。A 型和 V 型节点是 L 型节点的子集, S 型节点是曲线和直线的切点, C 型节点位于凹曲线上。

Lee^[85]提出了一种适合于平面立体和曲面立体线图的标记方法,用标记信息组合属于同一个物体的表面区域并估计隐藏节点类型。Lee 对 Chakravarty 的标记作了一些修改,不仅标记节点而且标记线,如图 1.3 所示。标记的一般过程为:

- (1) 获得图像或线图,并进行数字化处理。
- (2) 通过边缘检测和标记的方法获得线、区域、顶点的链码数据文件。
- (3) 搜索外围轮廓线并标记箭头符号。
- (4) 搜索每个区域边缘进行标记、组合以获得更有效的搜索。

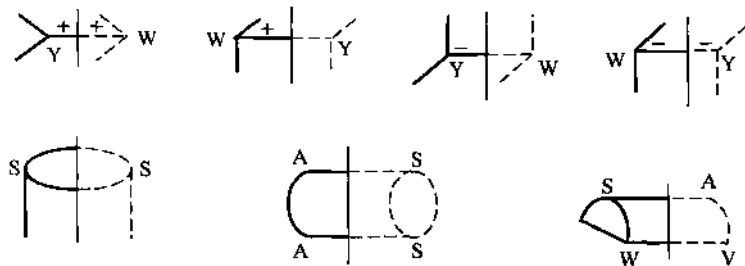


图 1.3 用标记信息组合估计隐藏节点类型

Malik^[86,87]列举了线图标记分类的错误,简化了 Lee 的分类,提供了正确的线图分类,他的分类方法也可以用来解释纸折物体、有阴影线的场景和排列数据。Malik 在过去线图解释

的基础上,利用标记约束和灰度约束,对不透明规则物体及分段光滑曲面提出了一种新的算法,可从二维图像恢复物体的三维形态,即表面方向及相对深度。

在曲面物体的线图中,视线可能与物体表面相切,导致了深度不连续,称之为极限边,在线图投影中作为转向轮廓线。Shapira^[88-89]对转向轮廓线提供了一种新的标记方法,利用一个物体的多幅线图提供一些附加的信息。

潘^[90]详细考察了曲面立体与平面立体的异同点,提出了一种曲面立体标记的新方法。它继续沿用 Huffman 对各种棱的定义,通过引入线段的一些新的标记类型,解决了在曲面立体标记过程中可能出现的不一致性。

薛^[91]提出了三面顶点“流形”曲面立体完整画隐线图的标记理论和方法。在三面顶点曲面立体完整画隐线图中合法的节点形式共有 69 种,其中,Y 型节点有 8 种,W 型节点有 16 种,S 型节点有 11 种,V 型节点有 34 种。对曲面立体完整画隐线图进行标记,能够判断其是否可能为“流形”曲面立体的投影,区分正确与不正确画隐线图。他提出的完整画隐线图标记方法也适用于平面立体画隐线图。

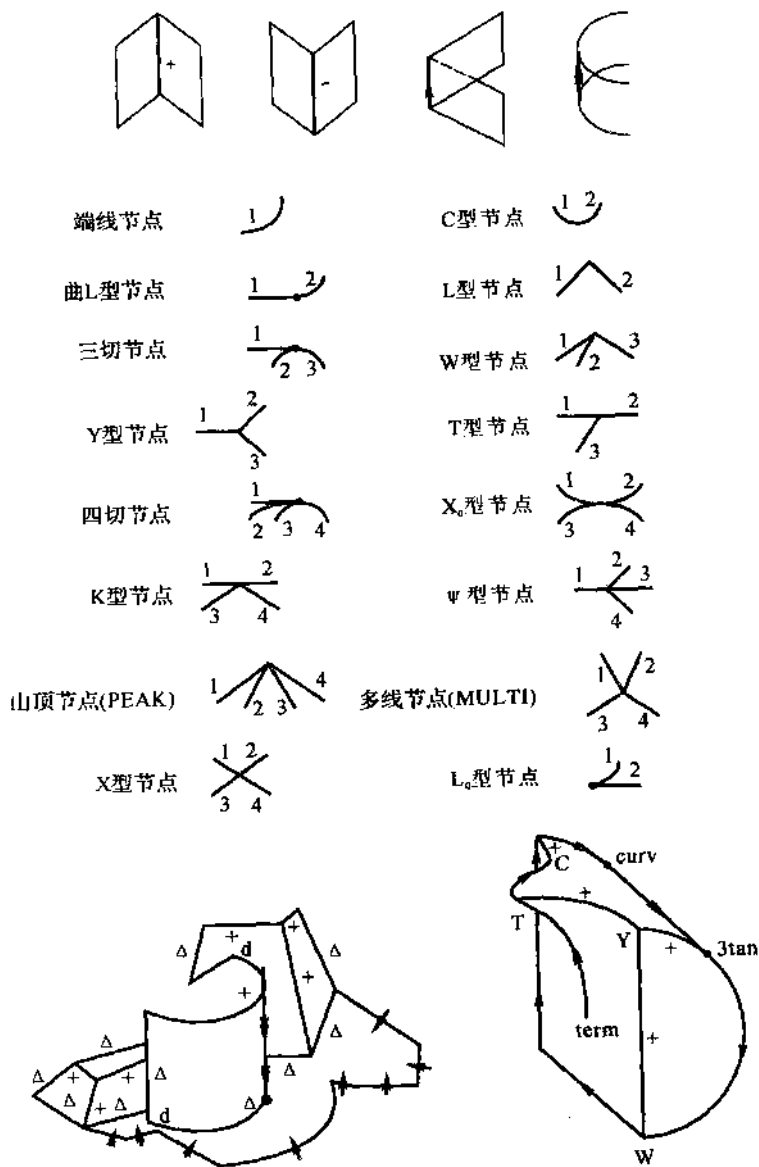
由于物体表面之间相互遮挡,从而在线图中存在一些不可见的线段,目前还很少看到补全线图中不可见部分的研究。Fisher^[92]指出理解物体表面信息的关键是形成一个用来聚集图像中区域,建立被识别物体的完整表面的假设。他将物体表面之间的相互遮挡归纳为三种情况,得到了处理遮挡问题的三个规则。

Varley^[93]提出从线图构造曲面立体的两步法,首先从线图构造平面立体,然后变形平面立体获得曲面立体。

Cooper^[94-99]对曲面物体的线图标记进行了详细的研究,提出了降低线图标记算法复杂性的技术。Cooper 把 Malik^[86-87]的曲面标记理论扩展到分段的 C^3 曲面和具有相切边的物体,详细地介绍了节点标记的分类,给出了新的节点标记分类(见图 1.4)。Cooper 把线性约束和节点标记约束结合在一起,可以把可能表示三维物体的线图和不可能表示三维物体的线图区分开。Cooper 在线性时间内解决了分段的 C^3 曲面物体线图的语义标记问题,当所有的灭点都已知时,用不同的线性运算法则来解决标记问题。当不是所有的灭点都已知时,标记问题变成了 NP 问题。Cooper 研究了具有阴影的线图的标记问题。把节点约束扩展到与节点共线的直线,补偿了由于对比失效而引起的信息损失。Cooper 利用曲面物体的线图中存在的一些线性约束,如两点相对投影面的距离不同,两点共线,点处在某一个平面之前和之后,点在另三点确定的一个面上,根据这些线性约束可以得到物体在空间的位置。

若给出某一个三维物体的投影线图,则该线图一定存在符合合法节点形式和线条形式的一致性标记;但若投影线图具有符合合法节点形式和线条形式的一致性标记,却并不能保证该线图是一个平面立体的投影,即线图具有符合合法节点形式和线条形式的一致性标记是该线图是某一个三维平面立体投影的必要条件,但不是充分条件,这是线图标记方法的主要缺陷^[100-101]。如图 1.5 所示,图 1.5(a)所示线图具有一致性合法标记,它也是某个平面立体的正确投影;图 1.5(b)~(d)所示线图不具有合法性标记,它们不是平面立体的正确投影;图

1.5(e), (f)所示线图具有一致性合法标记,但它们不是平面立体的正确投影,它们可以是曲面立体的正确投影^[102]。



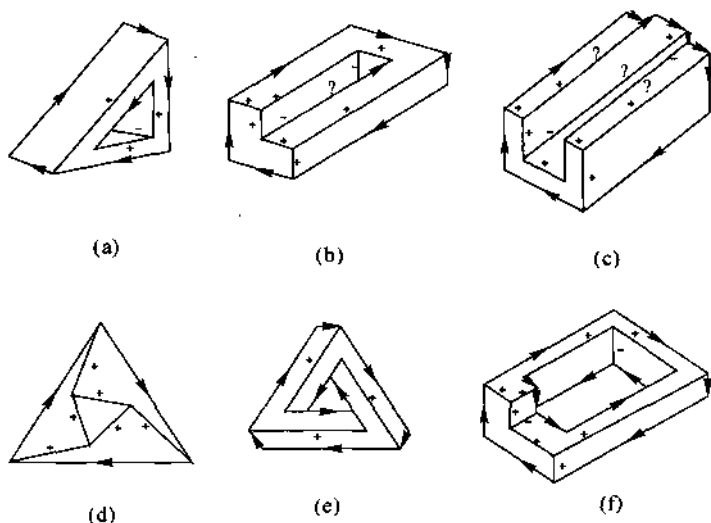


图 1.5 线图标记例子

2. 面的识别

从线图识别物体上的面是解释立体线图的关键问题之一^[103]。

Markowsky^[104]和 Wesley^[105]提出了一种拓扑驱策算法,但该算法仅能处理具有直线的线框图,且需要顶点的三维坐标和计算面的法线。Hanrahan^[106]和 Dutton^[107]用纯拓扑方法查找线图的面,但他们的算法只局限于亏格为零的对象,且它的图是三点连接的(割点为三个)。然而大多数的图并不是三点连接的。Ganter^[108]提出采用图论中的环路空间法查找线图的面,此种算法不能处理有洞的对象和内在面。

Leclerc^[109]首次通过查找线图的面构造来解决问题,但是 Leclerc 的方法查找图中的平面仅仅适用于简单对象(例如那些没有洞的对象)。

Shpitalni^[110-111]提出了在进行面识别和基于面构造已知的情况下从线图解释三维对象。他们的方法适用于较大范围的对象,可以是流形的或非流形的。然而,对于一般的流形或非流形对象,在面识别上算法是低效的,且不能处理带有内表面的对象。

Liu^[112]把面识别公式化为图中的最大权重问题,首先采用深度优先搜索算法查找所有的环;其次,用最大权重查找算法,从最小潜在面中选择最佳面的构造。Liu^[113]提出了适用于一般流形对象的面识别算法,面的识别方法是基于流形的属性,方法中主要的两步是①从线图中搜索环;②从环中搜索面。为了加速面的识别过程,若干属性被用来识别大多数的环在图中是否为真正的面,这样在第二次搜索时就减少了未知环的数量。Liu 的研究是针对画隐线图的,但将不可见的线段画成了实线,这必然使线图产生更多的多义性。Cai^[114]对 Liu 的面识别方法进行了改进,提出的算法能识别符合人们画图习惯的画隐线图的面,即在画隐线图中,物