

## 关于由二维视图重建三维形体算法的若干问题

A survey of reconstructing 3D objects from 2D orthographic views

朱仁芝 刘 磊

(中国科技大学精密机械与精密仪器系 合肥 230026)

TP391.41

**摘要** The reconstruction of 3D objects from 2D orthographic views is a simulation of human-being's three dimensional thinking ability by computers. It can be applied to the industrial production, CAD/CAM, AI, CAI, and others. This paper provides an overview in its principles, approaches and unsolved problems. The research directions in the future on this issue are also discussed.

**关键词** 3D reconstruction, Orthographic views, Computer graphics, CAD

## 1 引言

二维视图是工程界共同的技术语言,它在表达设计思想,编制工艺流程与技术交流等方面发挥着重要的作用。长期以来,图样的阅读工作依靠人力完成,复杂而又费时。怎样实现机器读图是目前人们关心的课题,其核心内容即如何由二维视图重建三维形体。二十年来,这一课题吸引了不少学者,其研究价值表现在:

(1)工程应用。机器读图将能有效地帮助理解设计图样所要表达的信息,减轻各种环节上技术人员的工作量,是工业智能自动化的一个方面。

(2)CAD/CAM<sup>[1]</sup>。二维图形数据的建立相对于直接三维形体描述具有直观、简单、容易检查等优点,一些专家设想的新一代CAD/CAM系统将通过输入形体的二维投影信息来描述和记录形体,以克服目前直接三维建模方法冗繁耗时,容易出错的缺点。这无疑将是CAD/CAM技术的一次飞跃。为达此目的,由二维投影重建三维形体是一个关键。

(3)AI。三维重建属于AI中机器理解与推理问题,是计算机对人类空间思维能力的模拟。迄今为止,模式识别和专家系统等<sup>[2]</sup>AI技术都已被用于其研究。这些工作丰富了AI的理论与实践。

(4)在CAI、机器人视觉等一些相关领域也具有一定的应用价值。

本文结合了最新研究动态与自身的研究成果,扼要论述了三维重建的基本原理、主要方法、研究难点与今后的研究方向。

## 2 三维重建的基本原理与方法

1973年,Idesawa首次提出由二维视图重建三维

形体问题<sup>[2]</sup>,并给出了重建的基本原理,即:不同视图中点和线的坐标值应具有对应相等的关系,通过这种对应(matching)能够确定出空间的点与线,乃至形体具体到点,也就是如果三个视图中的点 $a(x_1, y_1)$ ,  $a'(x_2, z_2)$ ,  $a''(y_3, z_3)$ , 满足:  $x_1 = x_2$ ,  $y_1 = y_3$ ,  $z_2 = z_3$ , 则可以得出空间一点 $A(x, y, z)$ , 其中  $x = x_1 = x_2$ ,  $y = y_1 = y_3$ ,  $z = z_2 = z_3$ 。这个原理成为以后研究工作的出发点。

迄今为止,已经发表的三维重建算法大致分为两类:自顶向下法与自底向上法。自顶向下算法将形体分解为由若干个基本形体或体素(正多面体、圆柱、圆锥、球、环等)组合而成。每种基本形体在三视图上的投影具有固定的模式,例如圆柱的三视图是两个矩形与一个圆,而球则为三个圆。找出每个视图中的圆、矩形等元素,再通过检查其坐标值将这些元素相互对应,根据基本形体的投影特性确定出每个部分的形状,最后将它们组装起来,就完成了三维重建。实现这种基于模型导引的重建算法,关键是体素投影特征知识库的建立,以及模式识别技术的应用,有时还需要用到专家系统的方法,其中较为重要的工作有Aldefeld的算法<sup>[2]</sup>, Chen的算法<sup>[3]</sup>与Nagasamy的算法<sup>[4]</sup>等,然而实践中遇到的形体通常较为复杂,有些很难被分解为一些基本形体的组合,这就大大限制了这类算法的应用。另外,有时一幅三视图对应的形体不止一个,即三维重建存在多解问题,至今尚没有一个自顶向下的算法能够处理这种情况。

绝大部分的三维重建研究采用了自底向上的方法,其中较为重要的工作列在表1里。

表1 主要的自底向上三维重建算法

年份	作者	能够重建的形体	文献
1973	Idesawa	多面体	[2]
1981	Markowsky-Wesley	多面体	[2]
1983	Sakurai 等	多面体、圆柱、圆锥、球、环	[2]
1986	Gu 等	多面体、圆柱	[2]
1988	Lequette	多面体、二次曲面形体	[7]
1989	Guiar 等	多面体	[5]
1992	Chen 等	多面体	[9]
1994	Yan 等	多面体	[1]
1996	You 等	多面体、二次曲面形体	[6]
1997	Masuda 等	多面体、圆柱、圆锥、球	[2]

归纳起来,这些算法的主要流程如图1所示。

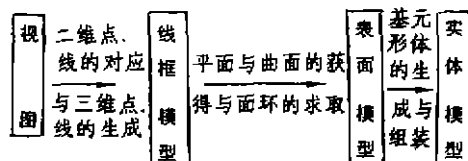


图1 自底向上三维重建算法流程

具体做法分别介绍如下:

(1)二维点、线的对应与三维点、线的生成。参与对应的二维点包括曲、直线段的端点与曲线的极值点。最初的算法首先由二维点对应产生三维点,再由三维点得到三维线段,文[1]、[5]给出了基于边线分类,从而由视图一步获得三维线段的快速方法。

(2)平面与曲面的获得。共面但不共线的两条或多条直线段与曲线段都能够唯一确定一个平面。曲面一般只考虑圆柱面、圆锥面、球面等,其中的每一种都可以用特定的模式来产生。例如一个球面可以由半径相同、相交但不共面的两个三维圆或圆弧唯一确定。通常,产生的平面与曲面都被记录成方程的形式。

(3)面环(face-loop)的求取。前面获得的平面与曲面需要加上边界条件才能作为形体的表面。边界可以通过求取落在面上的闭合环,即面环来获得。面环分为内环与外环,内环产生于形体上的孔洞。平面上面环的求法大多基于所谓“转向最左”的原理,其中文[1]的方法最为详细与便捷。由于目前研究涉及的曲面组合形式(相贯、截交等)较为简单,所以曲面上面环的求取方法还很少有文献报道,这是今后需要继续工作的地方。

(4)基元形体的生成与组装。前面步骤中获得的平面与曲面将空间分割成一些无公共内点的三维封闭子空间,称为基元形体或体环(body-loop)。基元形体的组合构成重建的候选解集,通过检验是否完全符合视图,判断出正确的重建结果。

自底向上的重建方法具有较为严格的数学基础,可以得到全部的正确解,而且能够有效地排除病态情况,因而功能较强。但是,该方法计算量大,效率有待提高,而且该算法目前尚不能处理含有剖面图的情况。

### 3 三维重建研究中的难点

由二维视图重建三维形体是计算机图形学中一个较为困难的课题。开始困难集中在如何有效地由三维线框产生实体模型,Markowsky-Wesley算法及之后的一些工作已经较好地解决了这一问题,形成了上一节所述的自底向上算法。然而还有一些困难至今没有得到很好的解决,成为目前研究的热点,具体问题是:

①能够重建的形体仍十分有限,主要限于多面体、圆柱体、圆锥体与球体等,而且曲面形体一般要求正放,允许的切割与相贯的方式也远不够丰富。这是三维重建课题至今还难以达到实际应用的主要障碍。

困难的根本在于曲面的轮廓线与多面体的棱之不同是,它并不在三个视图中都产生投影,因而在进行对应时需要特殊的处理方法。Sakurai 等的方法<sup>[1]</sup>基于点和边的分类,不同类的点和边采取不同的对应模式,他们实现了正放规则曲面形体的重建。Gu等在曲面获得的过程中采用了模式识别的方法<sup>[2]</sup>,减少了对曲面体放置位置的限制,允许出现对称轴只平行于投影平面但不必平行于坐标轴的圆柱体,该方法还能够处理曲面的相贯,但要求相贯线在某个视图上的投影为圆或圆弧。Masuda 等则发现,只要在视图中添加一些辅助线条,曲面的轮廓线也能够三个视图中都产生彼此对应的投影,并使尔后的重建方法与多面体的一致<sup>[3]</sup>。但该方法限制曲面的对称轴平行于某条坐标轴。

其次,机械零件中常见的一些结构,如内圆角、外圆角的光滑过渡等,曲面形式复杂,难以用基本形体来表达,给重建工作造成很大困难。在这种情况下,使用一些人机交互技术是有必要的。如在程序中增加人机对话方式,人为增添辅助线等。本文作者在这方面也进行了尝试,得到以下四个结果:

(1)将曲、直线段的端点、交点与曲线段的极值点归成一类,即特征点,并发现:一个视图中的特征点能够在另外两个视图中找到对应,从而唯一确定出一个三维点。

(2)二次曲面形体的轮廓线是平面曲线。只要求出所在的平面,并利用其在某一视图中的投影,就能够得到该轮廓线。而基于特征点对应的结果,这个平面不难求出。