

基于图形理解的建筑结构三维重建技术*

胡 筋¹, 杨若瑜¹, 曹 阳², 蔡士杰¹

¹(南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室,江苏 南京 210093);

²(香港理工大学 建筑与房地产系,香港)

E-mail: foxhome@163.net

http://keysoftlab.nju.edu.cn

摘要: 在实际应用中,现有的三维重建算法无法有效地应用到建筑领域.以建筑行业的基本制图规范为指导,结合图形识别理解和人工智能技术,提出了一种基于图形理解的建筑结构三视图自动识别与重建方法.该方法以自动识别建筑构件的轮廓为基础,通过对符号、注释等语义信息的理解与综合以及对相邻实体间拓扑关系的分析,快捷、有效地完成对建筑物的整体重建.实验结果表明,在少量人机交互的基础上,该方法对实际的建筑图是有效的.

关键词: 特征抽取;知识规则;理解;投影轮廓;三维重建;拉伸体

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

在工程领域中,工程对象各方面的信息如形状、大小、位置、功能等均通过图纸进行表达和传递.对于三维的机械零件、建筑构件等工程对象,传统的表达方式是,根据需要,用二维图形结合注释的形式给出在多个视图上的描述.这种方式的优点是,易于设计,图纸携带方便;缺点是,部分三维信息丢失,不够直观,在实际应用时需要相关人员结合若干张图纸,根据经验理解文字标注与符号的含义,分析二维图形间的相互关系,才能完成对某个对象的三维几何形体及其所隐含的高层工程信息的理解.虽然现在已有几类软件直接针对三维模型进行设计,但由于操作过于复杂,生成的三维模型在目前的应用中难以传递,所以暂时未能被工程界中的大多数人员所采用.采用二维示意图表示三维信息的方式在很长一段时间内还会继续存在,并作为主要的描述方式.因此,工程图的自动识别和理解十分必要.

目前,在机械和商品制造行业中已有多种重建算法通过识别图纸自动生成单个对象的三维模型^[1-5].但在建筑行业中,由于其特有的描述要求,使得相关图纸抽象程度较高,信息表达方式多样,图中对象数量繁多.现有的重建算法相对存在以下不足:几乎所有的算法都只能对单个实体进行重建;多数算法对输入资料有较为严格的要求,有些算法更是建立在理想情况的基础上;多数算法则只能对轮廓进行识别,少数算法加入了尺寸标注的识别^[6],但还没有真正做到对语义信息的识别和分析;有些算法运算复杂度很高,重建过程较长,无法应用于建筑物的重建中.因此,这些算法无法适用于建筑领域.现阶段的另一种解决方案是,根据部件的类型和形状制定许多模板,操作员识别图纸后输入参数,由计算机输出三维模型.这种方式由于需要人工识图和输入,所以效率仍然较低,而且劳动强度依然较大.使用 AutoCAD 等绘图软件设计工程图是目前普通的做法.所以,设计一个对建筑行业有效的从二维图形格式的电子文件自动生成三维模型的算法是必要的.

本文根据建筑行业特有的视图表示规则,提出了一种基于理解的建筑物三维重建方法.该方法结合建筑制图规则、图形识别理解技术和人工智能知识,通过基于特征抽取的识别算法,完成对建筑结构图(construction

* 收稿日期: 2002-02-28; 修改日期: 2002-06-05

作者简介: 胡筋(1976 -),男,重庆人,博士生,主要研究领域为图形学,CAD 技术,三维重建;杨若瑜(1977 -),女,安徽滁州市人,博士,主要研究领域为计算机读图,图形学,CAD 技术;曹阳(1973 -),男,江苏盐城人,博士生,主要研究领域为人工智能,工程图识别理解;蔡士杰(1944 -),男,江苏苏州人,教授,博士生导师,主要研究领域为图形学,CAD 技术,人机交互,文档分析和识别.

structure drawing,简称 CSD)的识别和视图匹配;然后给出一种适合于建筑行业的三维重建算法,完成对单个建筑构件进行实体重建;最后,通过进一步分析构件之间的拓扑关系完成对建筑物的重建.在整个识别和重建的过程中,许多重要步骤需要借助于对规则和知识的理解.每一步的结果都可能是后期处理的重要参考信息.

1 建筑结构图的特点

与其他行业的图相比,建筑结构图在表示上具有较强的抽象性和相互关联性,这是造成识别困难的重要因素.如图 1 所示为一根梁在不同视图上的描述.通过对建筑结构图的描述规则以及行业中的制图习惯进行分析,我们总结出建筑结构图的一些特点:

- (1) 信息分散性:建筑行业以楼层为单位进行绘图;各层中部件的描述又分为平面图和详图;单个部件的描述可能需要多个详图;有的数据采用综述的标注形式进行描述.
- (2) 信息交叉性:在任意的视图中,对单个部件进行描述的示意图总是包含相邻部件的部分信息.
- (3) 内容多样性:除了投影轮廓以外,图中还可能包括钢筋、符号、标注等.其中,符号和标注属于抽象描述.
- (4) 省略表示法:在建筑制图中,从已有信息结合专业知识推导出的信息通常会被省略.
- (5) 资料量庞大:整个建筑物的部件种类繁多,数量巨大.

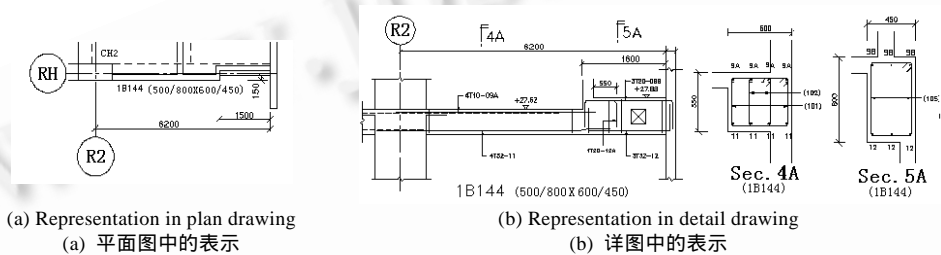


Fig.1 Representation of a beam in CSDs

图 1 建筑结构图中梁的表示形式

因此,对建筑结构图所描述的二维信息进行三维重建,仅仅依靠轮廓分析是不够的,也是不可能的,还需要对其他一些抽象的语义信息进行分析 and 理解.在这些语义信息的辅助下,自动地完成对投影轮廓的识别,恢复数据的完整性,并最终重建出三维模型.

2 三维信息的识别和综合

构成建筑物的主要部件包括柱、梁、墙、楼面、楼梯等.各个部件的结构信息及相互关系由平面图、立面图和剖面图来表示.平面图用于描述建筑物中每一层上的部件的布局以及平面视图上的投影轮廓.立面图和剖面图详细地描述各个部件在相关视图平面上的投影轮廓和内部钢筋信息.如图 1 所示.

2.1 基于特征分析的图形对象分离

在进行重建之前,首先需要获得部件轮廓.在建筑结构图中,平面图由投影轮廓和若干符号组成,立面图和剖面图则是由投影轮廓、若干符号和钢筋组成.描述这些信息的图元之间可能相互交叉或者重叠,使图显得凌乱复杂,而且部件的轮廓形状也没有固定的模板,所以通常无法直接获得部件的投影轮廓.通过分析图中各类对象的图形特征,我们总结出了各自的图形组合规律,从中发现,描述各类符号的图形组合的规律性最强,描述钢筋的次之,而描述投影轮廓的最弱.因此,我们提出了逐步简化的特征分析方法.

首先,确定各类对象的识别规则.对每一类对象,确定相应的图形元素组织结构,即由哪些图元组成、图元的属性以及图元的拓扑结构关系如何.为了正确区分部分相似的不同图形对象并加快查找速度,我们引入了负图元概念,即某类图形对象中一定不存在的图元.考虑到某些特殊图元的存在有助于快速、准确地地区分图形对象,引入了图元的判断优先级.考虑到各类绘图风格和人工绘图中可能存在的误差而引入了阈值范围.将以上因素综合起来,确定出该对象的识别规则.

然后,对这些识别规则进行应用.按规律性从强到弱的顺序,逐步将各类对象的识别规则应用到建筑结构图中,查找满足条件的图形元素集合,将其分离出来,存入相应的结构之中.该方法的优点是,既可以加快识别的速度,又可以提高识别的准确度.特别是对于那些情况复杂的图.

将各类符号和钢筋的识别规则逐一应用到图中,从中查找并分离出相应的图元之后即可获得只与部件投影轮廓相关的图元.如图 2 所示为图 1 中相关部件的轮廓信息以及必要的文字注释.

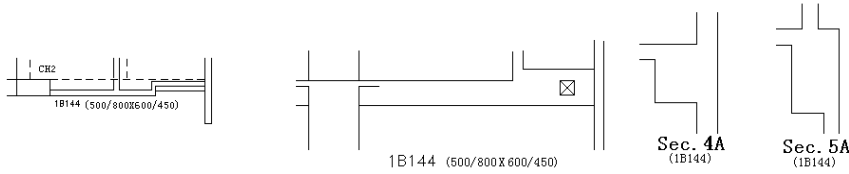


Fig.2 Contours obtained by segmentation
图 2 分离后的轮廓信息

2.2 部件投影轮廓的识别

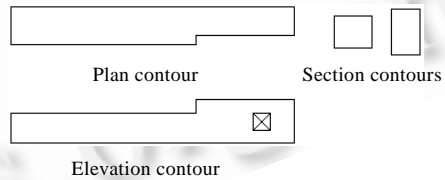
从建筑结构图中通过分离直接获得的部件轮廓信息是非独立的,有的更是非闭合的.如此设计的目的是为了能够清楚地描述部件之间的连接情况和钢筋的放置情况.如图 2 所示.由于部件轮廓形状的随意性很大,无法直接应用模板匹配的方法从这些图形中获得单个部件独立、完整的轮廓.因此,我们提出以部件名字符串为引导的基于开放式规范的部件轮廓识别方法.

采用以部件名字符串为引导的方法具有以下优点:

- (1) 以名称字符串作引导比较稳定.部件名是部件描述的重要成分,且部件的命名有一定的规则.
- (2) 部件的类型可以通过分析部件名获得,从而自动地引出相应的识别方法.
- (3) 便于在识别过程中综合分析信息.

首先,将部件命名规则应用到字符串集合中,查找所有有效的部件名字符串,同时判断出各自的部件类型.然后,对每一个有效的部件名字符串,根据部件类型选择相应的轮廓识别规则.在识别规则的引导下,借助已有的抽象资料,对图中图元的组合关系进行分析,从中分离出用于描述相连部件的图元,并通过对钢筋信息和部件间的连接关系的理解,将非封闭的轮廓部分闭合.在对部件轮廓的识别中遵循以下原则:

- (1) 识别的最终目标是一个封闭的二维图形.
- (2) 对于有尺寸标注的部件,在识别时,首先将这些尺寸作为一个判断条件.在无法满足的情况下,再进行更自由的组合分析.



平面投影轮廓, 剖面投影轮廓, 立面投影轮廓.

Fig.3 Accurate projections obtained by recognition
图 3 识别获得的部件投影轮廓

图 2 中的图元集合经识别和比例统一后所得的投影轮廓如图 3 所示.

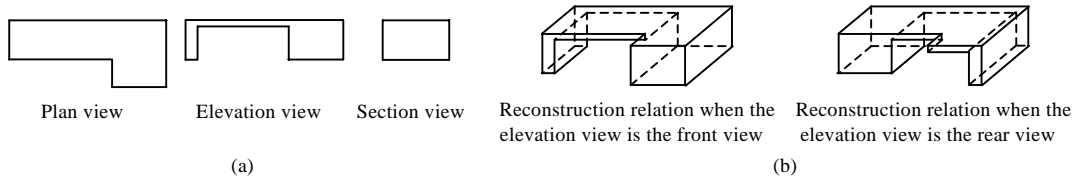
2.3 基于部件名称的信息综合

部件在多个视图上的投影轮廓通常分布在两个甚至更多的图中,在相应的图中没有明确地标注其他相关投影轮廓所在图纸的名称和位置.在对每个部件重建之前,根据已经识别出的部件名以及用于联系的特殊符号,将属于该部件的所有投影轮廓自动提取出来,并将那些位于同一视图平面上但因为特殊原因而分段表示的轮廓根据前期获得的参考信息,如网格符号、高度符号等,合并成一个完整的轮廓.

2.4 视图投影方向的确定

利用 3 个视图上的信息进行重建的方法是以各个视图平面与物体的六视平面的明确的对应关系为前提的,因为不同的对应关系所表示的实体形态可能不同.如图 4 所示,即为由于对应关系不同而重建出来的不同实

体模型.



平面图, 立面图, 剖面图, 立面图对应前视图的重建结果, 立面图对应后视图的重建结果.

Fig.4 Multiresolution caused by different corresponding relations

图4 对应关系不确定导致的多解情况

在建筑制图中,选取投影方向是以便于将部件描述清楚为准则,所以,不同部件所选用的视图平面不是统一的.这些视图与六视平面之间的对应关系通过一系列的辅助描述隐性地给出.为了正确地重建出单个部件,结合前期识别获得的描述信息、特殊符号和投影轮廓,对投影视图与六视平面之间的对应关系进行确定.

由于平面投影图唯一对应顶视图,剖面投影图是对某一具体部位的信息进行描述.根据这些特性确定了以平面投影图为参照,判断立面投影图的对应关系,然后以剖切符号为指导,判断剖面投影图的对应关系这一顺序.即借助部件两端的网格符号以及相连部件的位置关系,准确地得到立面投影图的对应关系.然后,借助对剖切符号的分析,准确地得到剖面投影图的对应关系.

3 建筑部件的三维重建

3.1 拉伸体的概念

定义 1. 如果一个实体的三维模型可以通过将该实体的某个平面沿一条不在该平面上的直线按一定规则作一定长度的拉伸而形成,则该实体称为拉伸体,或者 2.5 维实体^[7].用于拉伸的平面称为拉伸面.

如果在拉伸的过程中,拉伸面保持不变,则该实体称为简单拉伸体.如果在拉伸的过程中拉伸面需要随之渐变,则该实体称为特殊拉伸体,如圆台、棱台.

在建筑行业中,为了满足力学上承重性能的要求,各类部件的形状都有一定的规范.每个部件都可以表示为拉伸体或者若干个拉伸体的布尔组合.根据这一特性,提出基于理解的拉伸体重建方法.该方法以对建筑知识的理解为基础,通过分析识别获得的部件形状信息,逐步实现部件三维信息的完整和三维模型的建立.该方法可以准确、快速地完成单个部件的重建工作.

3.2 视图不完整情况的自动处理

由于专业人员具有丰富的领域知识,通过对部件类型及语义信息描述的理解,可以根据某些视图中的投影轮廓推断出在其他视图上的轮廓.因此,在建筑结构图中,部件的某些投影轮廓可能被省略.在重建之前,为了保证重建所需的信息完整,先进行信息完整性检查.对视图不完整的部件,在已有信息的基础上,根据相关规则生成缺省的视图.

生成机制可用如图 5 所示的图来表示.其中,高层信息是指在前期通过识别和分析所获得的与部件紧密相关的抽象信息,如尺寸信息、高度信息等.规则库中的规则是以部件的结构特征和专业基础知识为基础,确定部件在各个视图上进行描述时的关键信息以及与其他视图中的描述信息的联系,结合可能存在的抽象描述形式所总结出的在各种可能的缺省情况下的推导规则.

下面举例说明生成过程.

在建筑结构图中,通常对柱只给出平面投影图和相关的抽象描述.对这类缺省描述形式,结合柱的结构特征,总结出由上、下两层的平面投影轮廓和高度信息推导立面投影轮廓和剖面投影轮廓的规则:

(1) 将上、下两层平面投影轮廓在 xy 平面上进行坐标统一,在 z 轴方向根据高度信息确定两平面间的距离.

(2) 选择一个与平面视轮廓垂直的平面 a ,将上、下两个投影轮廓分别向平面 a 作投影,获得两条并行线段,连接两组端点获得一个闭合的四边形,即为柱的立面投影轮廓.

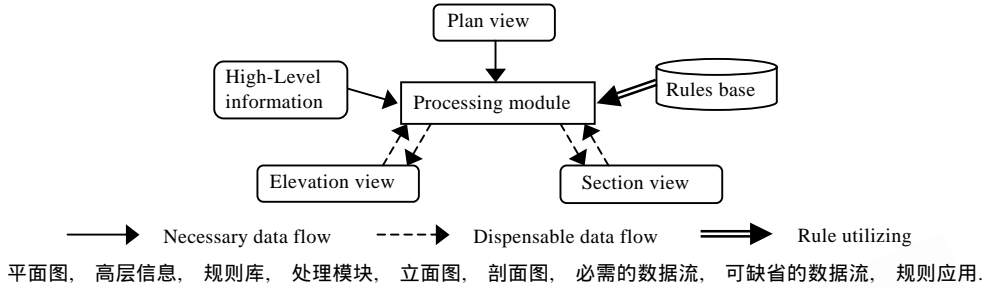


Fig.5 Principle for recreating absent projections
图 5 生成缺省视图的原理

(3) 选择一个与平面视轮廓垂直并且与平面 a 垂直的平面 b,将上、下两个投影轮廓分别向平面 b 作投影,获得两条平行线段,连接两组端点获得一个闭合的四边形,即为柱的剖面投影轮廓.

对于采用这种描述方式的柱,逐次取出两个相邻楼层中的平面投影轮廓,并通过分析两个楼层的高度符号获得柱的高度.将这些信息作为输入资料,按以上规则,自动生成柱在相应楼层间所缺省的投影轮廓.

3.3 复杂部件投影轮廓的分解

对于需要用多个拉伸体的布尔组合才能表示的部件,结合前期所获得的高层信息,自动地将这些复杂部件的投影轮廓组分解成若干个拉伸体的投影轮廓组的集合.

(1) 假实体的分离.为了便于铺设管道和线路,在某些部件上存在一些通孔或者凹槽,在图上表示为在可见视图上位于部件轮廓内部的闭合子轮廓.对于这类部件,将其分离表示成一个真实体与代表通孔和凹槽的假实体的集合.部件的最终模型通过用真实体的模型与假实体的模型进行差运算而得到.真实体的投影轮廓组通过将轮廓内的子轮廓消除即可获得.通孔和凹槽的投影轮廓组通过结合已有的投影轮廓和高层信息,以类似于处理视图不完整情况的方式生成缺少的轮廓.特别是凹槽,需要结合用其他形式描述出的深度信息才能生成正确的缺少轮廓.

(2) 基于部件结构特征的分解.有的部件在结构上可以分成几个功能独立、形状简单的子模块,如楼梯可分为平台与台阶两种子模块.如图 6 所示为一个楼梯的子模块,其中、为平台,为台阶.对于这类部件,通过对各个投影轮廓进行语义分析,确定构成该部件的子模块,并将各个子模块在各投影轮廓中的描述分离出来,构成各个子模块的投影轮廓组.通过图形理解,将一些复杂的投影轮廓组分解成若干个相对简单的子投影轮廓组.

经过以上处理,每个投影轮廓组代表一个实心实体.但在这些实体中,有的仍然不满足拉伸体的要求,如图 3 所示的投影轮廓组.对于这样的投影轮廓组,按以下步骤进行分解:

(1) 当存在多个剖面投影轮廓时,选择平面投影轮廓和立面投影轮廓.设非矩形的轮廓为 a,另一个为 b;否则,任选一个非矩形的投影轮廓 a 与另一个投影轮廓 b.将 a 中的端点向 a,b 的公共边作垂点,设为 n 个.根据两两相邻的垂点将 a,b 分成 n-1 对子轮廓对.

(2) 当存在多个剖面投影轮廓时,根据剖切符号所标注的位置将各个剖面投影轮廓与相关的子轮廓对进行匹配;否则,根据子轮廓对中的两个子轮廓在另一个投影轮廓中的投影范围生成相应的第 3 个子轮廓.

(3) 若分解生成的子投影轮廓组仍不满足拉伸体的要求,则对其继续进行分解.

图 3 的轮廓经分解后生成的 3 个子轮廓组如图 7 所示.

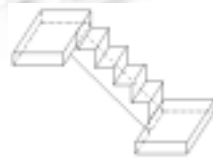
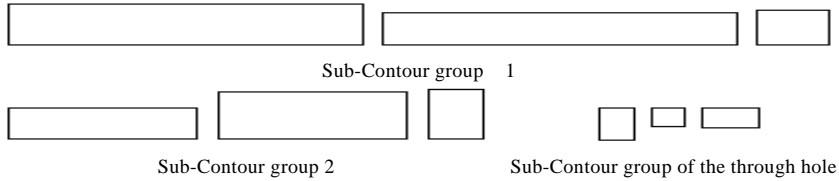


Fig.6 Decomposition of a straight staircase
图 6 单段楼梯的结构分解



子轮廓组, 通孔的子轮廓组.

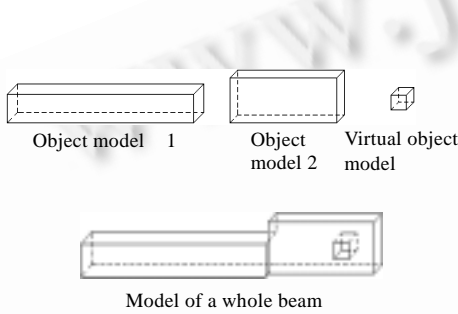
Fig.7 A set of projection groups obtained by decomposition

图7 分解生成的子轮廓组集合

3.4 模型的重建

经过以上处理,部件的投影轮廓组被分成若干个满足拉伸体要求的子投影轮廓组.对每个子投影轮廓组,选定拉伸面和拉伸路径,对简单拉伸体和特殊拉伸体采用不同的拉伸方法,通过拉伸即可获得对应的模型.表示通孔或者凹槽的投影轮廓组所生成的实体为假实体.

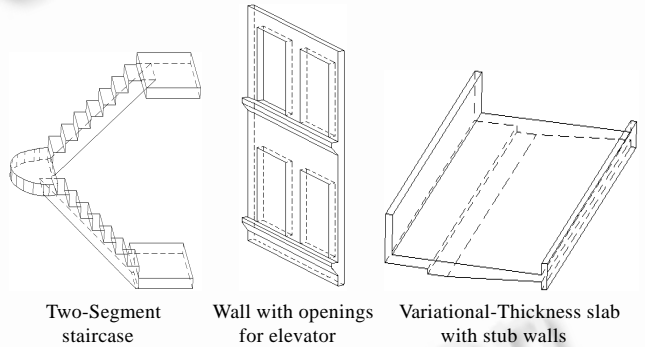
对这些模型进行实体运算.首先将所有真实体的模型进行实体加运算,然后再将假实体的模型逐一与之进行减运算,即可获得部件的准确模型.如图7所示的子轮廓组由拉伸获得的模型以及合并生成的部件的最终模型如图8所示.如图9所示为用该方法重建出的部分部件的模型.



实体模型, 假实体模型, 梁的整体模型.

Fig.8 Interim models and the final model in reconstruction process

图8 重建过程中的中间模型和最终模型



两段式楼梯, 电梯开口处的墙, 带矮墙且厚度变化的楼面.

Fig.9 Reconstruction results of some other elements

图9 其他部件三维重建结果

4 建筑物的整体重建

经过以上的处理过程,所有部件的三维模型都已获得.在此基础上,对整个建筑物进行整体重建.

4.1 部件坐标系的统一

由于前期重建生成的单个部件的三维模型位于各自的临时坐标系中,在将它们组合成一个整体之前,需要将其坐标调整到一个统一的坐标系中.调整的过程分为两个步骤:

(1) 同一楼层中部件模型的坐标系的统一.在平面图中,网格符号和尺寸标注给出了各个部件的平面布局信息.平面图中的楼层高度信息和相关详图中连接部件之间的高度落差信息给出了各个部件的高度信息.对位于同一楼层的部件,通过分析各个部件的平面布局信息和高度信息,制定各自相应的坐标转换函数,将模型的坐标转换到一个相对统一的坐标系中.

(2) 楼层间部件模型的坐标系的统一.不同楼层的平面结构图通常被绘制于不同的图纸中,各图纸上的坐标原点和旋转方向由于某些原因可能存在不一致的情况.但是,相邻楼层的平面图中同名的网格符号具有上下一致性,同名的柱或者墙具有上下连贯性.因此,按从下往上的顺序,将相邻楼层的部件模型逐一进行坐标调整.调整的策略是,从相邻楼层的平面图中选择两个在两张图纸中都出现的参考对象,这些参考对象可以是同名的

网格符号,也可以是同名的柱或者墙.根据参考对象在两层之间的位置变化,制定上层部件模型的坐标变换函数,将上层部件模型的坐标与下层部件模型的坐标进行统一.

4.2 整体模型的构建

将所有部件模型按各自的坐标进行放置,并作适当的消影处理,即可获得建筑物的整体模型.如图 10 所示为一个建筑物局部重建的渲染效果图.



Fig.10 Rendering model of a partly reconstructed building
图 10 建筑物局部重建的渲染

5 实验结果

本文提出的方法已被应用到我们为香港某建筑公司所开发的软件中,并完成了对十几个建筑项目的工程图纸的测试.在测试过程中,除了在前期识别阶段由于图纸中的部件结构特别复杂或者图中存在比较严重的绘图错误时需要进行少量的交互操作以外,其他过程均为自动处理.这显著地提高了重建的效率,并降低了操作员的劳动强度.在处理速度方面,该方法要比手工方式的效率高 20 倍以上.与其他自动重建方法相比,该方法在速度和自动化方面也具有明显的优势.表 1 给出了该方法与手工处理和以文献[2,4]中的算法为基础,结合大量人工操作的自动处理方法的比较.其中,重建速度是指重建一个建筑物的时间,与建筑物大小及复杂程度相关;容错能力是指对存在因绘制原因而造成误差的图的处理能力.

Table 1 Comparison of the existing methods and our method
表 1 本方法与已有方法的比较

	Our method	Other methods	Manual method
Recognition mode	Automatic	Automatic or manual	Manual
Judgment of the views' corresponding relations	Automatic	Manual	Manual
Reconstruction speed	3 days~10 days	1 month~3 months	2 months~6 months
Error tolerance (%)	60~85	0~20	95~100
Application domain	Architectural	Mechanical or others	Any one

本方法, 其他方法, 手工方式, 识别模式, 视图对应关系判断, 重建速度, 容错能力, 应用领域, 自动, 自动或者人工, 人工, 3天~10天, 1月~3月, 2月~6月, 建筑, 机械或者其他, 任意领域.

6 结束语

本文提出的算法是一种针对建筑行业的自动化程度非常高的建筑结构整体三维重建算法.该算法结合建筑专业知识、基本的三维重建技术以及人工智能中的知识规则技术,直接对电子格式的建筑图纸或者纸质图纸的矢量化结果进行处理.在重建过程中,对图纸的容错能力很强,所需的人机交互大大减少,并且对不同设计风格的建筑结构图有良好的兼容性.同时,通过该算法重建出的部件模型既有个体独立性,又有整体完整性.重建的结果可应用到行业内的许多领域,如建筑预算、室内装潢、设备安装、工程进度可视化等.目前的工作主要是针对建筑物中形状较为规则的 5 类重要部件,对形状很不规则的附属构件的处理能力较弱.这些问题还有待进一步研究.

References:

- [1] Idesawa, M. A system to generate a solid figure from three views. JSME Bulletin, 1973,(16):216~225.
- [2] Shin, B.-S., Shin, Y.G. Fast 3D solid model reconstruction from orthographic views. Computer-Aided Design, 1998,30(1):63~76.

- [3] Gao, Wei, Peng, Qun-Sheng. 3D reconstruction based on 2D view feature. Chinese Journal of Computers, 1999,22(5):481~485 (in Chinese).
- [4] Shum, S.S.P., Lau, W.S. Solid reconstruction from orthographic opaque views using incremental extrusion. Computer and Graphics, 1997,21(6):787~800.
- [5] Dori, D. From engineering drawings to 3D CAD models: are we ready now? Computer-Aided Design, 1995,27(4):243~254.
- [6] Dori, D., Weiss, M. A scheme for 3D object reconstruction from dimensioned orthographic views. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 1996,9(1):53~64.
- [7] Nezis, Konstantinos, Vosniakos, G. Recognizing 2.5D shape features using a neural network and heuristics. Computer-Aided Design, 1997,29(7):523~539.

附中文参考文献:

- [3] 高玮,彭群生.基于二维视图特征的三维重建.计算机学报,1999,22(5):481~485.

3D Reconstruction Technology for Architectural Structure Based on Graphics Understanding*

HU Jia¹, YANG Ruo-yu¹, CAO Yang², CAI Shi-jie¹

¹(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China);

²(Department of Building and Real Estate, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

E-mail: foxhome@163.net

<http://keysoftlab.nju.edu.cn>

Abstract: The existing 3D reconstruction methods cannot be effectively applied in architecture domain. A new method that is based on the architectural cartography criterion, techniques of AI and graphics recognition and understanding, is presented for automatic recognition and reconstruction of architectural structures by interpreting three-view drawings. In this method, automatic recognition of the architectural components' contours, integration of semantic information interpreted from symbols and notes etc., and analyzing topology relation of adjacent components are applied to reconstruct the whole building rapidly and effectually. Experimental results show that the method is efficient and accurate for automatic reconstruction of buildings composed of large number of components from their structure drawings with little user correction.

Key words: feature extraction; knowledge rule; understanding; projective contour; 3D reconstruction; stretch object

* Received February 28, 2002; accepted June 5, 2002