

文章编号: 1672-2892(2011)01-0105-04

基于图形理解的室内建筑三维重建算法

杨 晔, 姜晓彤, 况迎辉

(东南大学 仪器科学与工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 根据室内建筑行业特有的视图表示规则, 提出了一种基于理解的室内建筑物三维重建方法。该方法结合室内建筑制图规则、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, 完成对室内建筑结构图中墙体中线的提取, 进而获得整个建筑物墙体的拓扑结构; 然后对室内建筑结构图中2种重要的建筑构件: 门和窗户进行辨识; 最后实现室内建筑物的三维重建。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十分有效的。

关键词: 室内建筑; 特征提取; 三维重建

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

Arithmetic of 3-D house reconstruction based on graphics understanding

YANG Ye, JIANG Xiao-tong, KUANG Ying-hui

(School of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: This paper proposes an arithmetic of 3-D house rebuilding based on image understanding according to the standard rules of graphics in the architecture industry. The arithmetic picks up midlines of walls from the architecture drawing in order to obtain the whole topology of the house combining the rules of architecture drawing, image understanding and artificial intelligence; and then distinguishes two important members: door and window from the graphic; at last rebuilds the 3-D house. The result of the experiment indicates that the arithmetic is effective for actual architecture drawings with the help of man-machine conversation.

Key words: architecture; character pick-up; 3-D reconstruction

目前的室内装修建筑工程图纸, 以AutoCAD软件为主要设计绘制工具, DXF格式和DWG格式为主要流通交换格式, 采用二维示意图方法表达三维建筑结构信息。建筑工程使用的图形表达方式相对于机械制造中的三视图而言更为抽象, 不仅表达的内容复杂多样, 数据量庞大, 而且表达方式也更灵活多变。建筑工程视图的解释过程十分复杂, 如何充分、准确、合理地解释工程视图信息, 使其为机器所理解是一个非常具有挑战性的问题。当前围绕机械对象的重建算法研究较多^[1-5], 而直接面向建筑工程应用的实例化研究则较少, 更没有可以实用化的建筑工程对象重建工具。文献[6]使用ObjectARX^[7]进行AutoCAD系统二次开发, 来尝试建筑领域三维重建, 取得一定的效果, 但受制于ObjectARX, 通用性较弱。文献[8]采用基于图形理解来实现建筑结构的三维重建, 但需要借助于建筑结构三视图信息。室内装修建筑工程图纸通常只包含平面信息, 如何由这些二维数据信息获得房屋的拓扑结构, 进而实现房屋结构的三维重建是一项既有现实意义, 又有理论价值的工作。本文根据室内建筑行业特有的视图表示规则, 提出了一种基于理解的室内建筑物三维重建方法。

1 墙体中线提取算法

在室内建筑结构图中, 每段墙体分别由内侧、外侧2条墙线组成。要实现室内建筑的三维重建, 首先需要获得室内建筑墙体的拓扑结构图, 而利用墙体中线是描述拓扑结构图最有效的方法, 因此, 如何提取每段墙体的中线是本文研究的首要问题。房屋平面图中墙体的连接方式有很多种, 墙体的厚度也可能变化, 这都给中线的提取带来了不小的困难。为了使软件有更强的适应性, 中线的提取方法不能拘泥于某几种常见的墙体连接, 对一些特殊的连接方式也能做到自动适应, 将可能遇到的特殊情况转化为若干种常规形式。结合室内建筑制图规则, 通过

对大量的室内建筑结构图实例的分析,采用如下算法:首先对墙体中线进行初次提取,再对提取结果进行进一步的修正(如图1所示)。

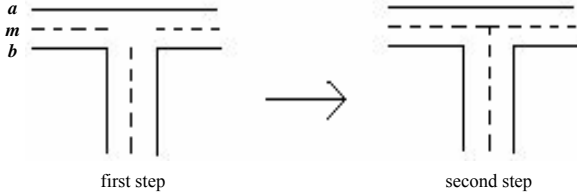


Fig.1 Process of midline pick-up
图1 墙体中线提取过程

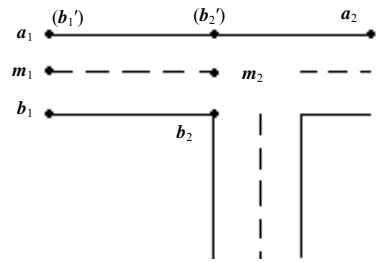


Fig.2 First step of midline pick-up
图2 墙体中线初次提取

下面以向量 a_1, a_2, b_1, b_2 生成中线向量 m_1, m_2 为例给出初次提取的具体算法:

$$b'_1 = \frac{a_1 a_2}{|a_1 a_2|} \left(|a_1 b_1| \times \frac{a_1 b_1 \cdot a_1 a_2}{|a_1 b_1| \times |a_1 a_2|} \right) + a_1 \quad (1)$$

$$b'_2 = \frac{a_1 a_2}{|a_1 a_2|} \left(|a_1 b_2| \times \frac{a_1 b_2 \cdot a_1 a_2}{|a_1 b_2| \times |a_1 a_2|} \right) + a_1 \quad (2)$$

$$\begin{cases} m_1 = \frac{(b'_1 + b_1)}{2} \\ m_2 = \frac{(b'_2 + b_2)}{2} \end{cases} \quad (3)$$

经过初次提取之后,基本上得到每段墙体的中线,但可能存在少量的冗余线段,这些中线相互分离,并没有形成完备的拓扑结构,还需要对此进行二次处理。首先剔除掉多余的中线,将临近的中线连接(如图2所示),并根据中线之间的连通性初步获得室内建筑结构拓扑信息。

2 门窗的识别

室内建筑结构图中,有2种重要的建筑构件:门和窗。一堵墙理论上可存在多扇门或窗,它们对墙体的拓扑结构以及最终的三维重建算法都有着直接影响,因此需要单独加以处理。本文定义如下准则:

1) 门或窗户是作为墙体的一种属性存在的,一个墙体可以有多个门窗。

2) 一段墙体中线交点之间无论有多少门窗,都作为一个墙体。

按照以上原则,图3中水平墙体应定义为一个完整的墙体,而非水平虚线所表示的3段墙体。

室内建筑结构图中,“窗户”基本由3到4根距离相近的平行线来表示。利用这个标志就可得到窗户的位置、长度、种类等信息。

门不像窗户,没有统一的标志可以利用。结合室内建筑制图规则,通过对大量的室内建筑结构图实例的分析,本文假设:

有2面平行墙体,若它们在同一水平线上,且2个相近端点之间没有其他墙体,那么这2个端点之间就可以添加1扇门。

图4给出了一种较为极端的情况。在同一水平线上有6个孤立端点,编号分别为a~f。对于这种结构,通过人工分析,容易判断bc,de是2个门。

其他的任何组合都不能构成门,但对于程序而言,则只能从数据入手进行分析。门的种类很多,比如说单扇门、双扇门、推拉门等,所以很难仅凭尺寸大小对门进行判断。经过分析,可将图4中所有“不是门”的端点组合从逻辑上分为6种:

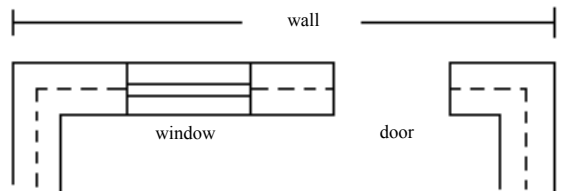


Fig.3 Relation among door, window and wall
图3 门窗与墙体关系图

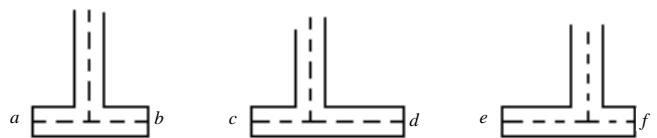


Fig.4 Identification of door
图4 门的辨别

1) *dc* 组合: 同一面墙体上的 2 点; 2) *df* 组合: 相邻两墙体上的同侧点; 3) *bf* 组合: 非相邻的两墙体上的同侧点; 4) *da* 组合: 相邻两墙体上的远端异侧点; 5) *fa* 组合: 非相邻的两墙体上的远端异侧点; 6) *be* 组合: 非相邻的两墙体上的近端异侧点;

从逻辑上而言, 上述 6 种组合涵盖了所有“不是门”的情况。下面给出能够在逻辑上将这 6 种情况与真正的“门”(按上述表述方法, 可表述为“相邻两墙体上的近端异侧点”)区别开的标志:

1) *dc* 组合: $dc = -d'c'$; 2) *df* 组合: $dd' / |dd'| = ff' / |ff'|$; 3) *bf* 组合: $bb' / |bb'| = ff' / |ff'|$; 4) *da* 组合: $|da| > |d'a'|$; 5) *fa* 组合: $|fa| > |f'a'|$ 。

注 1: *a* 点所在线段的另一点表示为 *a'*(即可称 *b* 点为 *a'* 点);

注 2: 各判据作用于任意“门”时, 结果为 false; 作用于序号所对应的组合时, 结果为 true。

1)~5)这 5 种情况都可以在逻辑上与“门”区分开。而情况 6)和真正的“门”并没有逻辑上的区别, 区别仅在于两墙体是否相邻。不难发现, 对某个端点而言, 它与相邻墙体的近端异侧点(即可以与之组成门的点)之间的距离必小于它与非相邻墙体的近端异侧点(即与之形成情况 6)的点)之间的距离。利用这个算法, 程序就能够从复杂的图形中识别出“门”这个抽象概念的位置了。

3 室内建筑结构三维重建

3.1 墙体的重建

在获得室内建筑结构拓扑信息的基础上, 分别计算出任意相连墙体的内外侧墙线的交点, 如图 5 所示, 分别演示了相邻两墙体、三墙体、四墙体的内外侧面相交的情况, 使任意房间的内部墙面保持封闭。

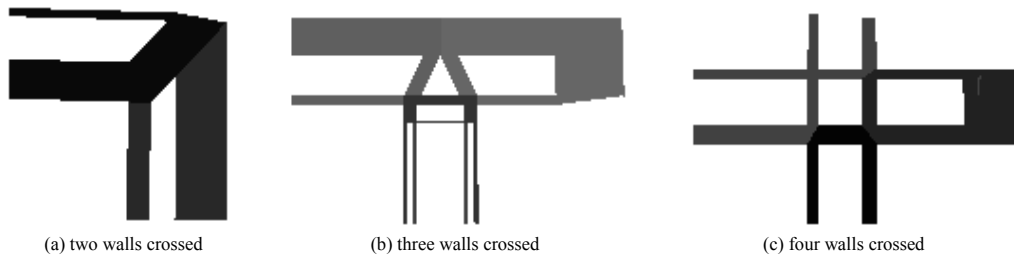


Fig.5 3-D wall cross point
图 5 三维墙体相交处实例

3.2 门和窗的三维重建

门和窗是室内建筑的重要组成部分, 因此实现门或窗的三维效果是室内建筑重建的重要任务之一。展现真实的门窗效果, 只需在门洞和窗洞的位置上放置 3DS 制作的门窗模型, 因此如何在墙体的对应位置上挖出合适的门洞和窗洞是这一过程的重点。

在正确识别门窗的位置或尺寸后, 可以对与门窗相关联的墙体进行分割。每段墙体是由 8 个点(即一个矩形体)构成的。对其进行适当的“分割”是实现“挖洞”效果的比较方便的途径。具体的分割方式可分为“横向分割”和“纵向分割”2 种(见图 6)。现实房屋的墙体上如果有多个门窗, 一般而言它们都是呈“横向分布”的: 首先, 门的上面不可能有门; 第二, 门的上面如果有小窗, 可将它也考虑为门的一部分; 第三, 窗的上面还有窗的情况很少, 现代房屋如果很高则更倾向于使用落地大窗。所以本文采用了“横向分割”这种分割方式来实现“门洞”或“窗洞”的重建。

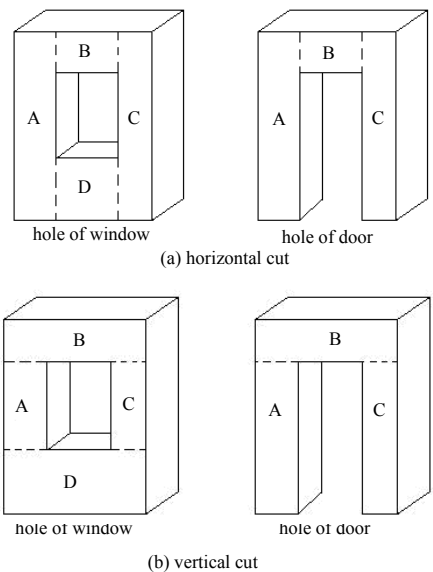


Fig.6 Cut style for window and door from wall
图 6 墙体中门窗的分割

4 实验结果

本文提出的方法已被应用到笔者为南京某公司开发的三维家装互动软件中, 并通过了几百套室内建筑结构图的测试。在测试过程中, 除极少数图由于用户制图错误或者一些

部件结构特别复杂需要少量交互操作外,基本都能重建出正确的三维效果图。图 7(a)是一幅二维室内建筑结构图(DXF 格式),图 7(b)是对应的三维效果图。

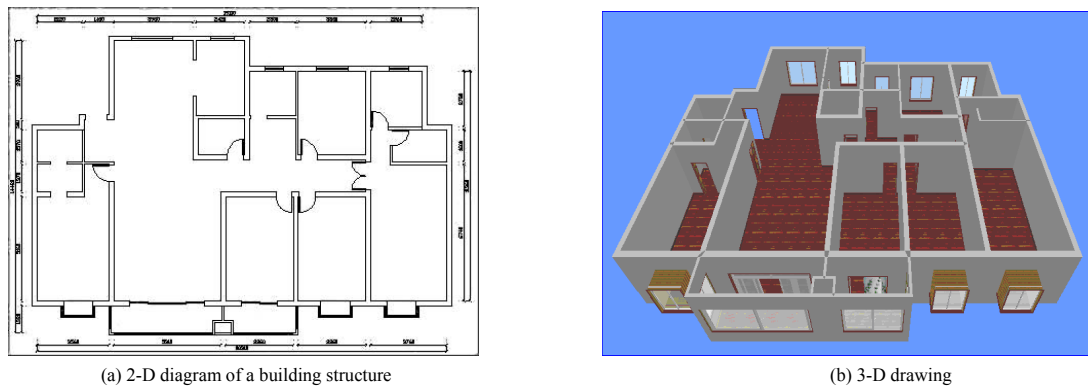


Fig.7 2-D diagram of a building structure and the corresponding 3-D drawing
图7 二维室内建筑结构图与对应三维效果图

5 结论

本文提出的算法是一种针对建筑、装修行业的自动化程度非常高的室内建筑结构整体三维重建算法。该算法结合室内建筑制图规则、图形识别理解技术和人工智能知识,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。可在建筑预算、室内装潢、设备安装、工程进度可视化等方面发挥重要作用。目前的工作主要是针对建筑结构比较规整的建筑结构图,对包含部件结构特别复杂的建筑结构图,处理能力较弱,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Shin B S,Shin Y G. Fast 3D solid model reconstruction from orthographic views[J]. Computer Aided Design, 1998,30(1):63-76.
- [2] GAO Weipeng,QUN Sheng. 3D reconstruction based on 2D view feature[J]. Chinese Journal of Computers, 1999,22(5):481-485.
- [3] Shum S S P,Lau W S. Solid reconstruction from ortho-graphic opaque views using incremental extrusion[J]. Computer and Graphics, 1997,21(6):787-800.
- [4] Doris D. From engineering drawings to 3D CAD models:are we ready now?[J]. Computer-Aided Design, 1995,27(4):243-254.
- [5] 李波,王祥凤,李本山. 基于单幅图像的三维重建技术[J]. 信息与电子工程, 2006,4(2):129-133. (LI Bo,WANG Xiang feng,LI Benshan. 3D Reconstruction Technology Based On Single Image[J]. Information and Electronic Engineering, 2006, 4(2):129-133.)
- [6] 王祎,谢步瀛. 二维建筑结构图的三维模型重建[J]. 工程图学学报, 2006,27(2):79-83. (WANF Yi,XIE Buying. 3D Model Reconstruction Based on 2D Structure Drawings in Architecture Engineering[J]. Journal of Engineering Graphics, 2006, 27(2):79-83.)
- [7] Autodesk Inc. AutoCAD2000 objectARX Developer'SGUIDE[EB/OL]. [2000-12-04]. <http://www.autodesk.com/objectarx/>.
- [8] 胡茄,杨若瑜,曹阳,等. 基于图形理解的建筑结构三维重建技术[J]. 软件学报, 2002,13(9):1873-1880. (HU Jia,YANG Ruoyu,CAO Yang,et al. 3D Reconstruction Technology for Architectural Structure Based on Graphics Understanding[J]. Journal of Software, 2002,13(9):1873-1880.)

作者简介:



杨 晔(1987-),男,河北省邢台市人,在读硕士研究生,主要研究方向为三维可视化、家居设计及 CAD 技术等方面的软件开发.email:kongyunzi@163.com.

姜晓彤(1975-),男,江苏省扬州市人,博士,副教授,主要从事三维可视化、虚拟现实在煤矿安全、城市规划、家居设计方面的教学和科研工作。

况迎辉(1969-),女,重庆市涪陵区人,博士,副教授,主要从事测控技术及智能机器人系统、机器人临场感技术、检测技术及系统试验设备研制开发、数据库技术及相关软件开发。