

三维建筑物重建中基于图像的非完全拓扑分析^①

史玉霞¹, 王传安²

¹(鲁东大学, 烟台 264025)

²(安徽科技学院, 凤阳 233100)

摘要: 在计算机视觉和计算机图形学中, 单视图三维重建是一个很难的问题。为实现基于单幅图像的快速建筑物识别过程, 提出了一种可行的、有效的三维重建方法—非完全拓扑分析。首先, 对可见部分的轮廓进行分析并提取建筑形象, 得到完整的拓扑结构。其次, 将分割后的拓扑结构与原始数据库信息进行快速匹配。实验表明, 本方法与SSDA图像匹配算法相比, 大大提高了计算速度。

关键词: 非完全拓扑分析; 三维重建; 加权识别算法

Non-Complete Topological Analysis in Image-Based 3D Building Reconstruction

SHI Yu-Xia¹, WANG Chuan-An²

¹(Ludong University, Yantai 264025, China)

²(Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract: 3D reconstruction from single view is a very difficult problem in computer vision and computer graphics. Much different from method using presently, we proposed a feasible and efficient method of 3D building reconstruction method by using non-complete topological analysis in this paper, which rapidly achieves the process of recognizing architectures based one or two images. Firstly, the outline of visible parts of architectures is extracted from image and is analyzed to get the incomplete topology of architectures. Next, the resulted topology will be divided into different primitive geometries, and these geometries are used to match models in databases finally. Experiments show that our method VS SSDA has better effectiveness.

Key words: non-complete topology analysis; 3D reconstruction; weighted recognition algorithm

1 引言

三维场景重建是计算机视觉、计算机图形学、虚拟现实等领域一个非常重要的研究主题^[1]。近年来, 三维场景重建技术已取得巨大进展, 产生了许多有效的算法^[2,3]。建筑物重建是三维重建中的一个重要方面, 其中建筑物的识别是一大难题, 如何快速准确的识别出图像中的建筑物是一个亟待解决的问题。

目前, 建筑物识别方法通常采用基于建筑物边缘线性特征的识别算法, 这些算法大都要求建筑物的轮廓线是完整的, 缺失部分或被遮挡的部分需要进行人工添加^[4,5]。典型的SSDA图像匹配算法本身没有抗干扰性能、计算过程中没有利用图像自身的

特点, 过多的人工交互影响了匹配速度, 使得效率比较低^[6]。针对这种情况, 该文提出了一种加权的建筑物识别方法, 该方法不要求建筑物的轮廓是完整的, 只需分析建筑物的可见部分就能够在数据库中找到对应的匹配模型。

2 非完全拓扑结构的分析与提取

2.1 非完全拓扑结构的分析

通常情况下, 一座建筑物的整体形状是由简单几何体组成的, 比如立方体, 棱柱体, 球体等。从在图像上提取的轮廓中对这些简单几何体进行解析主要依靠建筑物的投影拓扑结构, 也就是顶点, 边的布局,

① 收稿时间:2011-07-15;收到修改稿时间:2011-08-08

为此需要对可见部分的边和顶点进行分析。在分析之前,先引入几个相关概念:

概念 1: 间接平差法

通过选定 t 个与观测值有一定关系的独立未知量作为参数,将每个观测值都分别表达成这 t 个参数的函数,建立函数模型,按最小二乘原理,用求自由极值的方法解出参数的最或然值,从而求得各观测值的平差值。

概念 2: 灭点

指的是立体图形各点延伸线向消失延伸的相交点,即透视点的消失点。

现对可见部分的边和顶点进行分析:

分析 1: 顶点分析

为了加快与数据库的匹配速度,每个顶点都被赋予了一个权值,用来表示连接到这个顶点的边的数目,权值越大表示连入的边越多。根据这个权值与数据库进行匹配。

分析 2: 边分析

假定建筑物是由三维空间中分别平行于 X 、 Y 、 Z 坐标轴的“三组”平行线组成,那么这三组平行线互相垂直。首先利用间接平差求得三个方向上的灭点 p_{v0} 、 p_{v1} 和 p_{v2} 。然后利用下式计算任意一边 e 与所求灭点 p_v 之间的方位角:

$$g(e, p_v) = \begin{cases} 1 - \frac{d(e, p_v)}{T_a} & (d(e, p_v) < T_a) \\ 0 & \end{cases} \quad (1)$$

其中 $d(e, p_v)$ 是边 e 和求得的灭点 p_v 之间的距离函数,如果灭点是无穷点,它就是边的中点和灭点方向的夹角,如果灭点是有穷点,它就是边的中点和灭点之间的夹角。 T_a 是噪声阈值,用以处理图像中存在的噪声。首先对待匹配图 $G(V, E)$ 进行扫描,将其像素点与模板图为 $G_m(V_m, E_m)$ 中对应点的灰度值进行比较,并将其差值与 T_a 作判断,从而决定待匹配图的当前像素点是否存在噪声,并采用中值滤波的方式去除噪声。其中, T_a 取值根据多次实验结果决定。将每条边和三个灭点分别代入上式,则使上式取得最大值的那个灭点为与这条边对应的灭点。

2.2 非完全拓扑结构的提取

本文使用边缘检测的方法获得建筑物可见部分的边缘框图,同时逐步建立一个图 $G(V, E)$ 。初始状态 $G(V, E)$ 为空。每检测出一条边就把它和对应的顶点信

息分别加到图 $G(V, E)$ 中,顶点信息放入集合 V 中,边信息放入集合 E 中。顶点信息包括每个顶点的编号和权值,初始状态每个顶点的权值为 0,每连入一条边它的权值就增加 1。边信息包括用顶点序号表示的数对和一个表明这条边和哪个灭点相对应的数字,即这条边属于哪一个组。

3 快速匹配算法

3.1 数据库信息

数据库中存储了某一视点下的每个基本几何体的拓扑结构及其约束条件。视点信息是利用单幅图像求得的。每个几何体的拓扑结构分别存储在图 $G_{mx}(V, E)$ 中, m 小于等于建筑物的立体面数, x 为在一立体面下的摄取视点数;约束条件存储在方阵 A_{mx} 中, A_{mx} 的阶数为边的数目,约束条件是指边与边之间的相等,平行或垂直关系。

3.2 匹配算法过程

为了进一步简化匹配过程,提高匹配速度,首先根据提取的物体拓扑结构对数据库中的模型进行如下操作:

用摄像机拍摄建筑物图片时,物体的某个部分可能被遮挡住了或者没有被拍下来,那么从图片上提取到的拓扑结构可能就是不完整的,在这种情况下,从图像上提取到的顶点个数和边数只能是小于等于数据库中对应模型的顶点个数和边数。所以首先将提取到的具有不同权值的顶点个数与模型库中模型的顶点个数进行比较,如果出现提取到的模型中具有某个权值的顶点的个数大于模型中同等权值的顶点个数,则直接越过此模型,只与其他模型进行匹配。具体的匹配过程如下:

1) 从数据库中任意选取一个模型 $G_m(V_m, E_m)$,再从 $G(V, E)$ 的顶点集 V 中任意选取一个权值最大的顶点 V 作为起始点,在 $G_m(V_m, E_m)$ 的顶点集 V_m 中查找与 V 权值相同的顶点,比较与 V 它们相连的边的组号是否一致,若一致,则执行步骤 2), 否则执行步骤 3)。

2) 从顶点集 V 剩余的顶点中再任取一个权值最大的顶点 V ,在顶点集 V_m 剩余的顶点中查找与它权值相同的顶点,并比较与它们相连的边的组号是否一致,若一致则重复执行步骤 2), 直至 V 中所有权值大于 1 的顶点都被遍历。则此模型就是目标模型,匹配完成,若不一致则执行步骤 3)。

3) 从顶点集 V_m 中再另取一个权值与 V 相同的顶点, 比较与它们相连的边的组号是否一致, 若一致则执行步骤 2), 否则重复执行步骤 3), 直至 V_m 中权值与 V 相同的顶点被遍历完, 此时执行步骤 4)。

4) 再从数据库任意选取一个模型, 重复执行步骤 1) -4), 直至所有的模型都被匹配, 此时计算每个模型的匹配率, 最大者即为所求模型。匹配率是指已匹配的顶点数与提取的整体轮廓中所有顶点之比。

3.3 匹配算法的计算时间

匹配算法的优越性取决于算法的计算时间能否满足实时性的要求。由于本文快速匹配算法分为提取过程和匹配过程, 因此需用计算时间由提取和匹配时间两部分组成, 分别用 t_q, t_p 表示, 实时图为 $G(V, E)$, 模板图为 $G_m(V_m, E_m)$ 。

1) 提取时间 t_q 为:

$$t_q = 4T_a V E t_s \quad (2)$$

其中 t_s 为计算 2 个 8 字节的整形数据相减所用的时间。

2) 匹配时间 t_p 为:

$$t_p = \frac{(V - V_m) \times (E - E_m) \times V_m \times E_m \times t_s}{(T_a + 1)^2} \quad (3)$$

综上所述, 快速匹配算法需要的计算时间为:

$$t = t_q + t_p = \left[\frac{(V - V_m) \times (E - E_m) + 4T_a}{(T_a + 1)^2} \right] V_m E_m t_s \quad (4)$$

4 实验分析

直接从图片上提取到的非完全拓扑结构是基本几何形状拓扑结构的组合, 为了和数据库中存储的基本几何形状的拓扑结构匹配, 需要把提取到的整体拓扑结构分割成一个个基本形状的拓扑结构。对图 1 中所示的建筑物原图进行拓扑分析后, 分割所得的拓扑分割图结果如图 2 所示。

为了测试算法的局限性和优势, 采用本文提出的匹配算法与序贯相似度检测匹配法 (SSDA) 进行性能比较, 结果如图 3 所示。

由图 3 可知, 本文方法在提取时间和匹配时间上都优于 SSDA 算法, 还可看出, 随着数据模型顶点集合 V 中顶点个数的增加, SSDA 算法的匹配时间是线性增加, 而本文方法的匹配时间几乎没有增加。



图 1 三维建筑物原图

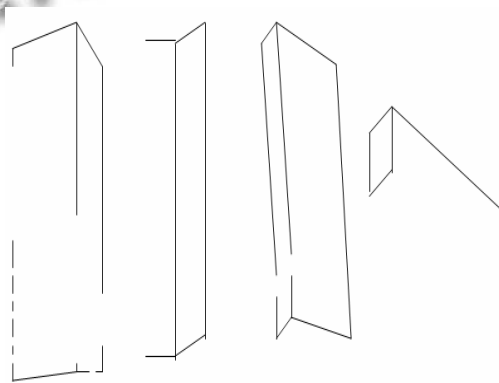


图 2 建筑物拓扑分割图

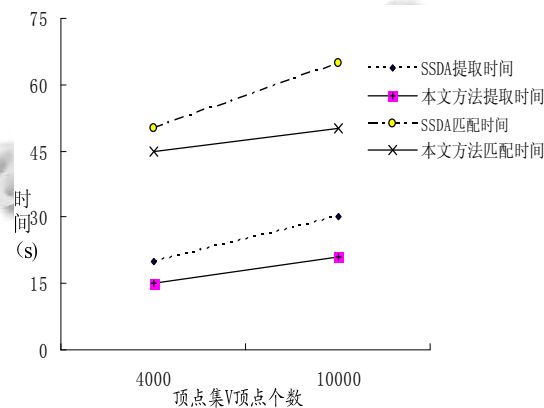


图 3 本文方法与 SSDA 性能比较

5 结论

本文所提出的基于非完全拓扑结构的数据库匹配算法, 整个识别过程大致可划分为三个阶段: (1) 数据库的建立, 由于事先求出了视点位置, 所以数据库中只存储了每个简单模型的一种拓扑结构, 存储量比

(下转第 151 页)

池中的可用线程数,在旧的调度机制中,就会造成阻塞。在新的调度机制中,只有一个线程池,每一个可用的线程可以执行任何一个就绪的资源这样的话,只要有可用的线程和就绪的资源,那么这个资源就可以执行,不会出现有空闲线程就绪资源却得不到执行的情况。例如:在旧的调度机制中,我们有20个空闲线程,其中有5个数据加密线程,5个数据抽取线程,5个数据清洗线程,5个数据压缩线程。在一次资源调度中有20个任务同时到达,他们的第一个资源全都是数据加密,这样只有先到的五个数据加密资源执行,其他的15个加密资源因为没有空闲的加密线程而被甩到了队尾,这样的话我们还剩下15个空闲线程却还有很多的资源就绪却得不到执行。而在新的调度机制中不会出现这种问题,只要有资源就绪,和空闲线程,资源就能得到执行。

3.2 系统的可维护性和可扩展性提高

在代理模式下的资源调度系统中,如果系统有新的资源出现,我们不需要修改任何代码,只要增加一个我们需要的资源类^[7],并且这个资源类是继承自抽象主题对象 AbstractResource,然后再在资源类的配置文件中加上这个类的整路径就可以了,程序员不必修改任何其他的代码。

4 结语

一个好的资源调度系统既要兼顾执行速率又要考

虑以后系统的扩展。设计模式是为了满足软件设计的 OCP 原则(软件开-闭原则)而提出的一种编程思想。用好设计模式并不是一件容易的事,需要丰富的经验和过硬的技术。用好设计模式会给软件的后期维护和扩展带来事半功倍的作用,在本文中设计模式不但提高了调度系统的可维护性和可扩展性,同时也在一定的程度上提高了调度系统的执行效率。这个系统正在调试运行的过程中,还有很多需要改进和升级的地方。

参考文献

- 1 孙咏.基于 OCP 软件应用架构的设计与实现.北京:中国科学院研究生院,2009.
- 2 阎宏.JAVA 与模式.北京:电子工业出版社,2002.
- 3 史捷.数据仓库系统中任务调度策略研究.沈阳:东北大学,2005.
- 4 Freeman. Head First 设计模式(中文版).北京:中国电力出版社,2007.
- 5 刘峰.设计模式及组件技术在业务逻辑层中的应用研究.北京:中国科学院研究生院,2010.
- 6 刘静.模型驱动架构中模型构造与集成策略.上海:华东师范大学,2006.
- 7 Wang XB. Research and Implementation of Design Pattern(中文版). Oriented Model Transformation. Computer Society: 2008.

(上接第 222 页)

较小;(2)在图像上对建筑物可见部分的轮廓进行简单的提取。建筑物越复杂,拓扑结构提取消耗的时间就越多,整个匹配效率也就低。图像的质量则关系到能否提取到完整、准确的边,这对匹配的稳健性有很大的影响;(3)图像中的建筑物与模型物体匹配。这个阶段使用的匹配算法是一个关键问题,它的好坏对整个系统的运行效率影响很大。

本文采取的方法简单、高效,它只需对可见部分的拓扑结构进行分析,并不需要完备的拓扑信息,这对于有遮挡的建筑物的重建很有帮助;同时,它跨越了复杂的数学运算,能够节省匹配的时间。

参考文献

- 1 夏春林,王佳奇.3D GIS 中建筑物三维建模技术综述.测绘科学,2011,36(1):70-72.

- 2 Ting Z, Feng DD, Zheng T. 3D Reconstruction of single picture. ACM Conference on Visual Information Processing. 2004. 83-86.
- 3 吴军.三维城市建模中的建筑墙面纹理快速重建研究.测绘学报,2005,34(4):21-24.
- 4 张会霞,陈宜金,刘国波.基于三维激光扫描仪的校园建筑物建模研究.测绘工程,2010,19(1):32-35.
- 5 Van den Heuvel, FA. Reconstruction from a single architectural image from the Meydenbauer archives. Proc. of the 18th International Symposium of CIPA 2001. Potsdam, 699.
- 6 吴培景,陈光梦.一种改进的 SSDA 图像匹配算法.计算机工程与应用,2005,33(11):75-78.