

面向规划的建筑物屋顶精细纹理快速生成方法

刘全海^{1,2} 邓非¹ 李楼² 冉慧敏²

1 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079

2 常州市测绘院,江苏 常州,213002

摘要:针对三维规划审批对精确的空间关系及逼真的三维可视化效果的综合需求,设计实现了两套针对大规模三维数字城市建筑物模型的屋顶纹理快速生成方案。方案一基于严格投影成像方程建立物方与像方对应关系,并根据视线方向、遮挡关系、成像分辨率等选取最优纹理进行映射。方案二通过建立相应的屋顶纹理库,并利用屋顶纹理智能匹配技术实现大范围屋顶纹理的快速合成。利用常州市三维城市模型数据进行了实验分析,实验表明,这两套纹理生成方案生成的屋顶纹理都满足建筑物纹理重建生产要求,极大地提高了三维建模效率。

关键词:数字城市;城市规划;三维建模;纹理映射;纹理匹配

中图法分类号:P231.5

文献标志码:A

面向规划的三维城市对建筑物和周边环境进行三维重建时,需满足准确的空间关系和逼真的三维可视化效果,并使二者融合统一。目前,基于多细节层次的三维空间数据建模方式呈多样发展,可充分利用多种数据,实现房屋几何建模的半自动化^[1],如 LiDAR 数据、矢量地图数据、航摄立体测图、卫星影像、地面影像等。当前主流的三维建模方法主要分为 4 类:(1)基于设计软件的矢量数据拉伸方式,利用已有二维数据及相应的屋顶类型和楼层高度信息,批量生成相应的三维模型;(2)LiDAR 与航空影像结合的三维重建^[2-5],通过对点云数据处理与航空影像配准等操作,进行三维重建;(3)基于影像建模^[6-7],快速生成带有纹理的三维模型;(4)精细建模(手工建模)^[8],主要通过人机交互方式,应用专业建模软件进行三维建模,如 3Ds Max、Multigen Creator 等。

三维模型在城市规划和管理工作中具有重要的空间格局和视觉作用^[9]。规划业务需要精细的三维重建。通过三维仿真系统集成规划方案三维模型后,可以从各个角度查看设计成果的高度、色彩、体量、天际轮廓线等是否符合要求^[10]。尽管国家发布的《城市三维建模技术规范》(CJJ/T 157—2010)、《基础地理信息三维模型产品规范》(CH-T9015-2012)等规范中,均仅对色彩做出了

相应规定,对于纹理的分辨率并未明确量化指标。但在部分地方相关标准中已有部分做出相应的细化要求,如常州市城市三维建模要求超精细模型的纹理分辨率优于 1 cm,精细模型的纹理分辨率优于 2 cm,普通模型的纹理分辨率优于 10 cm。

纹理数据的来源主要有三个途径:已建立的纹理数据库,地面近景影像以及卫星遥感和航空影像等。用摄影测量的方法从大比例尺的航空影像获取建筑物表面的纹理,具有便捷、高效和高信息容纳性,是实现三维建筑物纹理重建的重要途径^[11]。目前,三维模型数据多是通过航空摄影测量(含倾斜摄影测量)方式生成的,除几何细节不足外,有些模型纹理的分辨率也达不到规划要求。因此,有必要对这类三维模型数据进行质量提升,对模型的纹理进行替换。孙春生^[12]、康志忠^[13]等在建筑物立面的高分辨率纹理重建方面做了相关研究,提出了建筑立面高分辨率纹理重建的解决方案,但针对屋顶的高分辨率纹理重建的研究较少。基于此,本文对目前三维数字城市建模的相关技术标准以及生产流程进行了研究,建立了两套建筑物模型屋顶纹理生成方案。首先,利用航空影像的纹理真实性和获取手段的便捷性,基于摄影测量的方法从影像中获取建筑物屋顶纹理坐标,选取最优纹理进行自动的纹理映射。然后,针

收稿日期:2014-10-20

项目来源:国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2012BAJ23B03);住建部科学技术计划资助项目(2013-S5-4)。

第一作者:刘全海,博士生,研究员级高工,主要研究领域为数字城市建设理论、城市三维可视化等。E-mail:672810610@qq.com

对低分辨率的模型纹理,建立相应的屋顶纹理库,根据已有的贴图数据和纹理库贴图数据进行匹配,快速对模型屋顶贴图进行替换,提升模型效果。

1 方法与原理

本文实现屋顶纹理快速生成主要包括两套方案,一套是基于摄影测量方法的影像真实纹理映射;另一套是针对低分辨率纹理模型,利用已有合成纹理库,快速进行屋顶纹理替换。两套方案的整体流程图如图 1 所示。

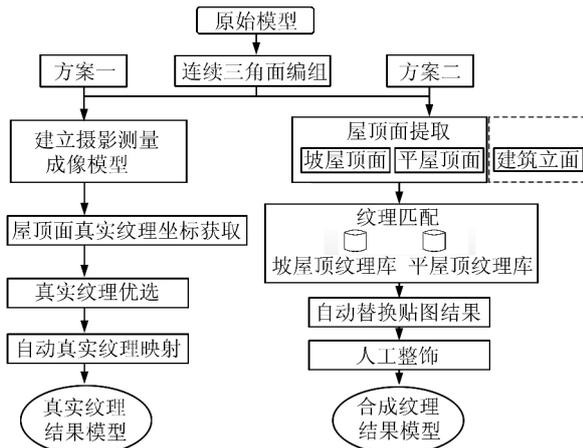


图 1 屋顶纹理快速生成整体流程

Fig. 1 Overall Process of Rapid Roof Texture Generation

1.1 基于三维拓扑的连续三角面编组

由于三维模型数据已建,在处理之前,三维模型中三角面的拓扑关系未知,而实现真实纹理映

射或者合成纹理的自动替换都是在连续的屋顶面上进行。因此需要对构成三维模型的三角形进行“分类”,找出哪些三角形共同构成屋顶部分或者墙体立面部分。根据面的法线方向,对所有三角面进行聚类分析,对属于同一连续面的三角形进行相同的区域编号。如图 2 所示,最终构成三维模型的所有三角面均完成了编组,编号相同的三角面属于同一区域。

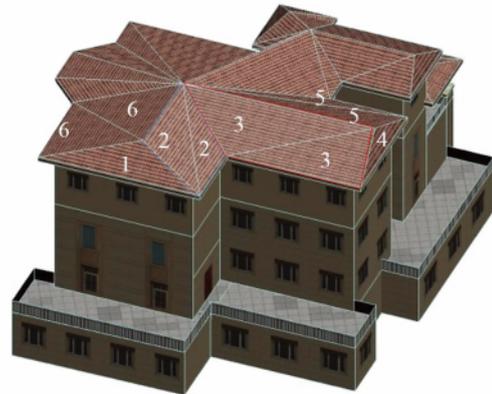


图 2 连续三角面编组示意图

Fig. 2 Grouping Schematic of Consecutive Triangles

1.2 真实纹理映射方案

1.2.1 纹理映射原理

纹理映射的本质是对三维物体进行二维参数化,即用某种方法建立二维纹理空间点 (u, v) 到三维物体表面点 (X, Y, Z) 之间一一对应的关系。本文提出的真实纹理映射方案基于摄影测量原理,利用原始影像数据,获取其真实屋顶纹理坐标并映射到相应的模型,得到建筑物屋顶的真三维模型。其自动纹理映射原理过程如图 3 所示。

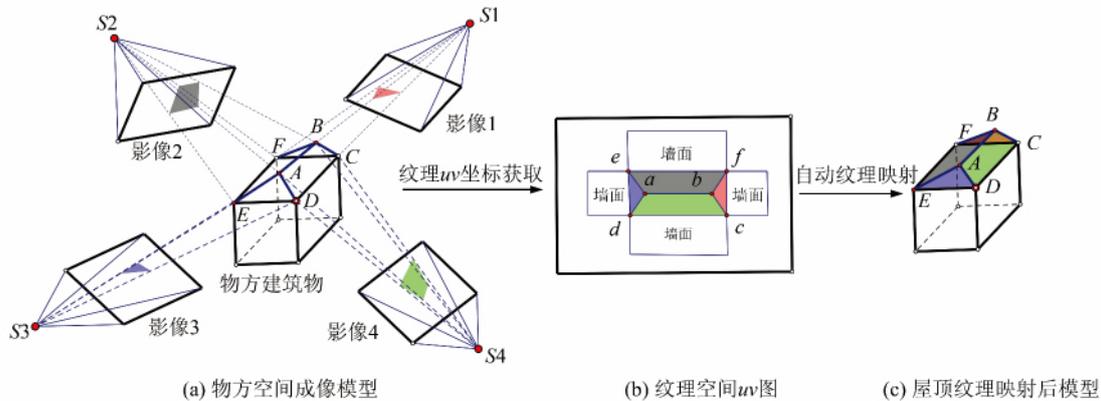


图 3 屋顶真实纹理自动映射原理图

Fig. 3 Auto Mapping Schematic of Roof Texture by Using Real Image

对于某一目标建筑物,利用多角度相机,在不同的位置获取建筑物目标模型多个角度的倾斜影

像。图 3(a)中,影像 1~4 分别为建筑物在不同视角下的影像, S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 分别为影像的摄影

中心,面 $ABCD, AED, ABFE, BCF$ 分别为建筑物屋顶不同方向的屋顶面。航空摄影测量的投影方式为中心投影。在理想情况下,摄影瞬间像点、投影中心、物点位于同一条直线上。根据共线方程(1),利用建筑物物方坐标与影像的内、外方位元素,可以得到建筑物屋顶面在不同视角影像中的纹理坐标。图 3(b)表示建筑物屋顶面在纹理空间中的 uv 坐标,不同的颜色代表不同视角下屋顶面的最优纹理, $abcd$ 为面 $ABCD$ 在影像 4 中的纹理, aed 为面 AED 在影像 3 中的纹理, $abfe$ 为面 $ABFE$ 在影像 2 中的纹理, bcf 为面 BCF 在影像 1 中的纹理。

$$\left. \begin{aligned} x - x_0 - \Delta x &= -f[a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)] / \\ &[a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)] / = -f\bar{X} / \bar{Z} \\ y - y_0 - \Delta y &= -f[a_3(X - X_s) + b_b(Y - Y_s) + c_c(Z - Z_s)] / \\ &[a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)] / = -f\bar{Y} / \bar{Z} \end{aligned} \right\} (1)$$

1.2.2 影像处理及纹理 uv 图生成

屋顶上不同的三维面对应不同视角影像的纹理坐标,在纹理空间中,需要对这些纹理进行融合,得到整体 uv 图。不同视角拍摄的影像,由于拍摄时间、角度不同,其影像之间存在辐射差异,在进行纹理映射之前,需要对这些影像进行匀光操作。本文利用 Wallis 滤波器,在多视角影像之间进行匀光处理,实现影像间的色彩平衡。在对建筑物展 uv 时,建筑物的各个面不可能都连续展在 uv 图中,不同面的纹理之间可能存在无纹理区域,这些区域的像素值就会被赋值为黑色,因此在自动纹理映射时,不同建筑物三维面之间会存在黑缝。如图 3(b)中的墙面与墙面之间存在无纹理区域。本文采用边界邻域扩散方法,即对每个无纹理区域中的像素,查询其所有 8 邻域点,当出现其中像素已被填充后,将这些像素的色彩取平均赋给该像素,否则不进行处理。这样,每遍历一次影像,可以将有效纹理区域的边界扩展一个像素宽。经过多次循环遍历,边界扩展达到一定程度(例如本文取 64 个像素),就能很好地保证最终显示效果不受影响。

对最优纹理进行合成得到建筑物的最终纹理 uv 图,将纹理 uv 图中的 uv 坐标及其对应的颜色自动映射到相应的三维屋顶的表面上,从而得到带有真实纹理的物体表面,如图 3(c)所示。

1.2.3 真实纹理优选

由于航空影像的覆盖范围较大,一张影像会包含多栋建筑物;同样地,一栋建筑物也有可能出现在多张影像上。考虑到遮挡和变形的因素,必须对纹理进行优选。本文提出了一种纹理优化算法,如图 4(a)所示,主要考虑以下三个因素:(1)摄影中心与贴图面 a 中心的相对位置,贴图面 a 的中心 O 到摄影中心 S 构成的向量 \vec{OS} 与面 a 法线 \vec{ON} 的夹角 α ;(2)照片拍摄角度,摄影光轴 \vec{SC} 与面法线 \vec{ON} 的夹角 β ;(3)纹理遮挡面积。

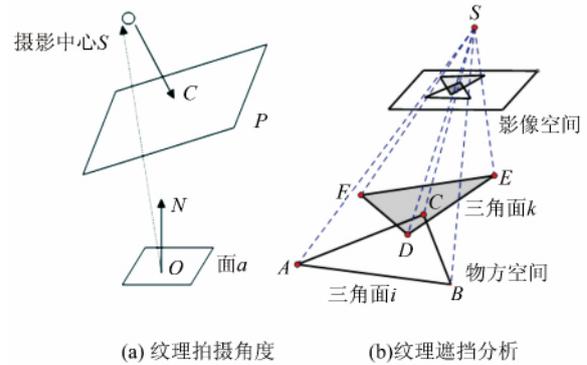


图 4 纹理优选示意图

Fig. 4 Schematic of Texture Preference

遮挡纹理的判断是真实建筑物纹理映射中的一个重要内容,对于纹理遮挡判断,本文提出了一种基于矢量计算的遮挡判断算法。如图 4(b)所示,三角面 ABC 和 DEF 分别为物方空间的屋顶面, S 为摄影中心。本文利用多面体相交来判断三角面 i 是否被三角面 k 遮挡,建立摄影中心 S 到三角面 i 的多面体 $S-ABC$ 。同理,建立 S 到三角面 k 的多面体 $S-DEF$,利用矢量计算,判断这两个多面体是否相交;如果相交,则表明三角面 i 被三角面 k 遮挡。根据摄影测量原理,分别投影三角面到影像上,在影像空间中利用式(2)计算最终的纹理遮挡面积, A_i 表示面 i 在影像上的遮挡面积, $k_1 \sim k_n$ 为与面 i 有遮挡的面的序号。由式(2)可知,不断遍历其他三角面,得到所有对面 i 有遮挡的面 $k_1 \sim k_n$,分别计算面 $k_1 \sim k_n$ 与面 i 的相交面积,得到所有相交面积的并集为最终的纹理遮挡面积 A_i 。

$$A_i = \text{face}_i \cap (\text{face}_{k_1} \cup \text{face}_{k_2} \cdots \cup \text{face}_{k_n}) \quad (2)$$

式中, face_i 表示面 i ; face_{k_1} 表示面 k_1 。

针对上述三个因素,对这三个量设置权值,构造目标函数 $y=f(a,b,c)$ 。其中, a 表示为夹角 α 的余弦值 $\cos\alpha$; b 表示为夹角 β 的余弦值 $\cos\beta$; c 为贴图面 a 的遮挡面积。根据 y 的极大或极小值

来得到 a, b, c 的最佳组合, 此时所对应的影像纹理为最接近于真实的纹理。本算法构造目标函数为:

$$y = a \cdot P_1 + b \cdot P_2 - c \cdot P_3 \quad (3)$$

式中, P_1, P_2, P_3 为对应的权值, 取线性最优, 选择 y 最小所对应的影像为最终纹理。其算法流程图如图 5 所示。

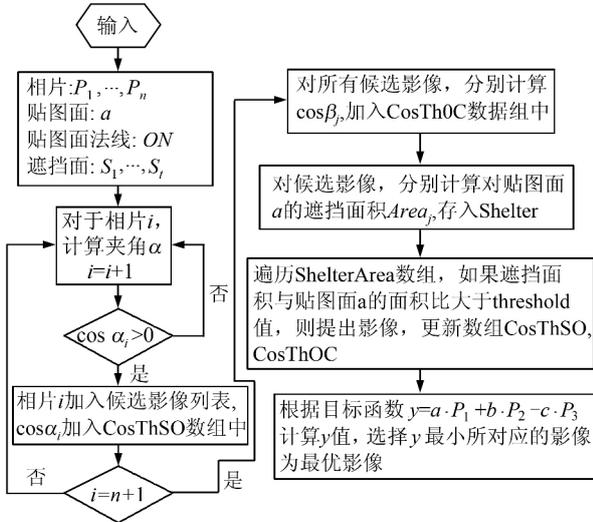


图 5 纹理优选算法流程图

Fig. 5 Flowchart of Texture Preferred Algorithm

1.3 合成纹理映射方案

1.3.1 平屋顶、坡屋顶、墙面的分类

实际应用时, 需将平屋顶、坡屋顶所采用的材质进行分类, 并分类建立相应的屋顶纹理库。连续编组后的三角面也需按照坡屋顶、平屋顶与墙面进行分类, 以保证屋顶纹理匹配与替换时, 具有较高搜索效率与准确度。

对屋顶分类, 本文选用判断方法如下。

求出属于同一屋顶面的所有三角形的平均法向量 \vec{d} , 计算该法向量与水平面之间夹角的绝对值 φ , 按式(4)判断:

$$\begin{cases} \varphi < 15^\circ, \text{平屋顶} \\ 15^\circ \leq \varphi < 75^\circ, \text{坡屋顶} \\ \varphi \geq 75^\circ, \text{墙面} \end{cases} \quad (4)$$

按照式(4), 即可对所有的连续三角面进行分类, 以便在纹理自动替换时不同类型面能够匹配到对应的纹理库。

1.3.2 屋顶面与纹理库的自动匹配

本文通过提取原始屋顶面对应航空影像所在区域的颜色信息, 再与屋顶纹理库中对应贴图进行比较, 从中选择最接近航空影像的贴图来替换。在进行色彩匹配时, 由于传统的直方图匹配方式^[14-15]进行颜色相似度计算时, 耗时较多, 不适合

大批量任务处理。而 Smith^[16]提出的 HSV 颜色空间是基于人眼对颜色的主观感知, 因此, 在 HSV 颜色空间进行屋顶贴图自动匹配能取得良好的视觉效果。针对本文任务情形, 在谢君廷^[17]等提出的一种基于 HSV 空间的颜色相似度计算方法的基础上, 对具体算法做了相应改进, 使其能应用到屋顶纹理的自动匹配中。

实现纹理自动匹配的关键在于颜色相似度的计算, 在 HSV 颜色空间中, 两个像素 P_i 和 P_j 的颜色欧氏距离如下:

$$D_{ij} = \sqrt{(h_i - h_j)^2 + (s_i - s_j)^2 + (v_i - v_j)^2} \quad (5)$$

两个像素颜色相似度如下:

$$S'(p_i, p_j) = \begin{cases} e^{-\frac{d}{T}}, & d < L \\ 0, & d \geq L \end{cases} \quad (6)$$

式中, d 为像素 P_i 和 P_j 的颜色欧氏距离; T, L 为大于零的常数, 本文算法默认取 $d < L$ 。当两个像素值相同时, 其相似度为 $S'(p_i, p_j) = 1$ 。

两幅图像 I_A 和 I_B 的颜色相似度定义如下:

$$S(I_A, I_B) = \frac{1}{N_A} \times \sum_{(p_A, p_B)} S'(p_A, p_B) \quad (7)$$

式中, N_A 为图像 I_A 像素总数; (p_A, p_B) 为图像 I_A 和 I_B 在匹配时的像素对。

逐像素进行图像色彩匹配时, 计算复杂度和空间复杂度不宜过高。为了提高匹配的速度, 谢君廷^[17]利用聚类方法分别将图像 I_A 和 I_B 中的所有颜色相似的像素归为一类, 然后进行类与类之间的匹配计算, 从而降低计算复杂度与空间复杂度。考虑到屋顶纹理自动匹配时纹理数据量大, 而屋顶纹理的色彩相对单一, 本文对纹理库图像进行了预处理, 求出了各幅图像的 H, S, V 分量的平均值, 将单张图像所有像素作为一个聚类参与匹配, 替代了多个类别的匹配方式, 从而得到更高的处理效率。即目标影像像素在与纹理库进行相似度计算时, 各像素均与 H, S, V 分量平均值 $p_i(\bar{h}, \bar{s}, \bar{v})$ 进行颜色欧氏距离计算。设 I_A 为待匹配图像, I_B 为纹理库中图像, 对于纹理库中每幅图像, 各个像素 $p_B(\bar{h}, \bar{s}, \bar{v})$ 固定取值为 $p_B(\bar{h}, \bar{s}, \bar{v})$ 。计算屋顶面对应图像与纹理各图像间的颜色相似度, 取相似度最大的纹理为屋顶面的纹理。

1.3.3 合成纹理坐标获取

快速合成纹理映射的前提是建立完善的标准纹理库, 纹理库的建设可以根据地域特色, 如瓦的形状、材质等分类建设, 方便建模人员查看使用。标准纹理库建设后, 还应当将纹理的信息(对应实际瓦的大小、长宽比例)记录下来, 以作为纹理坐

标计算依据。为了保证纹理的方向正确(比如瓦片的方向与屋檐或屋脊边垂直),还必须将屋顶多边形面旋转到与纹理坐标轴平行,转换过程如图6所示。

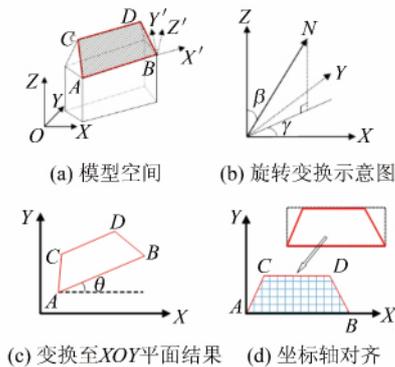


图6 屋顶面空间变换

Fig. 6 Space Transformation of Roof Faces

考虑到纹理库中图像都是沿着实际屋顶的屋脊或者屋檐的边线方向修理过的,因此,三维空间对应模型面通过旋转等操作变换到与 XOY 面平行后,尚需要将其旋转到一边(通常是屋檐边或屋脊边,如图6中 AB 边)与相应坐标轴平行。根据建筑物的结构特点,对齐边选取准则为:(1)选择与水平面平行的边作为对齐边,即边的两端点 Z 坐标相等;(2)选择高度较低的边作为对齐边。以图6(a)为例,则 AC 、 BD 边被排除,根据第二条,则图6(a)中 AB 边最符合条件。同时,为了计算方便还需将旋转后的四边形最左下角(如图6(d)中虚线框的左下角点)移至坐标原点。变换完成后,即可根据纹理图像的长宽比例,进行纹理坐标的计算,从而使合成纹理正确映射到三维模型表面,实现了屋顶合成纹理的自动替换。

2 实验结果与分析

按照本文提出的方法,从常州市已有的利用航空影像制作的三维模型数据中,选取了两个实验区场景的三维模型数据,分别用真实纹理自动映射和合成纹理自动替换方式进行屋顶纹理生成实验。实验区选择了建筑物相对集中的城镇区域。其中,实验区一大小约 0.1 km^2 ,实验区二大小约 1 km^2 ,实验区建筑模型结构均类似。

2.1 场景效果对比

图7(a)是使用航空影像作为真实纹理的某区域三维建模结果,图7(b)是利用合成纹理,进行屋顶纹理自动替换后的结果。图8、图9分别是图7中区域1和区域2的平屋顶和坡屋顶两种

纹理映射的细节对比。从图7(b)可以看出,利用航空影像生成的屋顶纹理具有真实性,利用合成纹理替换后的屋顶纹理具有规则性,整体色彩跟真实纹理接近。两种方案生成的纹理都能完成模型的纹理重建,根据不同的生产要求,可选择不同的纹理生成方案。



(a) 屋顶真实纹理映射结果



(b) 屋顶合成纹理映射结果

图7 实验区一屋顶纹理映射效果图

Fig. 7 Roof Texture Mapping Renderings of Experiment Zone 1



(a) 真实纹理映射

(b) 合成纹理映射

图8 平屋顶自动纹理映射效果对比

Fig. 8 Effect Contrast of Flat Roof's Auto Texture Mapping

2.2 相对手工建模效率对比

图10与表1统计了实验区一、二进行人工屋顶贴图和使用本文提出的自动纹理生成的工作量情况。根据实验结果分析可知,利用自动屋顶纹理生成可以节省约80%的人工作业量,整体效率约为纯人工修改贴图的5倍以上。自动屋顶纹理生成后的场景只需要少量的人工修改后就可以满足使用需求,大大减轻了人工作业量。

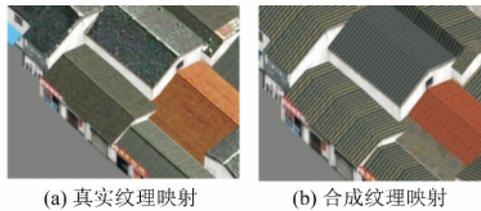


图9 坡屋顶自动纹理映射效果对比

Fig.9 Effect Contrast of Sloping Roof's Auto Texture Mapping

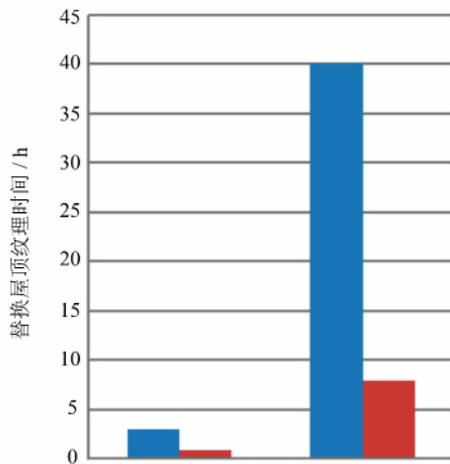


图10 屋顶自动纹理映射时间对比

Fig.10 Time Contrast of Roof's Auto Texture Mapping

表1 不同实验区不同映射时间对比

Tab.1 Time Contrast of Different Area

	实验区一	实验区二
人工方式	3	40
本文方式	0.85	8

3 结 语

按照本文方法,常州市测绘院对市区范围内已有的200 km²范围内的三维模型数据进行了两套屋顶纹理生成方案的实验。两套方案的纹理映射结果都大幅改善了三维数据的视觉效果,使之达到规划业务对三维模型精细程度的要求,节省了大量的人力,证明了本文方法的有效性。

当然,本文方法还可以进一步提升和改进:(1)衍生到建筑立面贴图处理中,以交互方式半自动替换建筑立面贴图,进一步减少人工工作量;(2)改进图像色彩匹配算法,提高贴图挑选的准确率,减少后期人工修改工作量;(3)将该算法与航测法自动模型生成生产流程结合,提高数字城市三维模型的生产效率。这些都是后续研究的方向。

参 考 文 献

- [1] Zhang Zuxun, Zhang Jianqing. The Approaches and Key Technologies of Urban Modeling[J]. *World Sci-tech R & D*, 2003,3:15-21(张祖勋,张剑清. 城市建模的途径与关键技术[J]. 世界科技研究与发展,2003,3:15-21)
- [2] Zhang Yongjun, Zhang Zuxun, Zhang Jianqing, et al. 3D Building Modelling With Digital Map, LiDAR Data and Video Image Sequences[J]. *The Photogrammetric Record*, 2005, 20(111):285-302
- [3] Tong Lihua, Li Manchun, Chen Yanming, et al. A Research on 3D Reconstruction of Building Rooftop Models from LiDAR Data and Orthophoto[C]. The 20th International Conference on Geoinformatics, Hongkong, China, 2012
- [4] Deng Fei, Xu Guojie, Feng Chen, et al. Building Reconstruction Using LiDAR Data and Airborne Images[J]. *Journal of Geomatics*, 2010, 1:35-37(邓非,徐国杰,冯晨,等. LiDAR数据与航空影像结合建筑物重建[J]. 测绘信息与工程,2010,1:35-37)
- [5] Zhao Xu, Zhou Keqin, Yan Li, et al. 3D Reconstruction Method for Large Scale Relic Landscape from Laser Point Cloud[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(7):684-687(赵煦,周克勤,闫利,等. 基于激光点云的大型文物景观三维重建方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2008,33(7):684-687)
- [6] Jing Xiao, Gerke M, Vosselman G. Building Extraction from Oblique Airborne Imagery Based on Robust Facade Detection[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2012, 68:56-68
- [7] Fruh C, Zakhor A. Constructing 3D City Models by Merging Ground-based and Airborne Views[C]. Conference Computer Vision and Pattern Recognition, Madison, USA, 2003
- [8] Quan Wei, Hao Guiju. Method for Establishing Three-dimension Model of Urban House with 3Ds Max[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2011,34(6):194-195,200(全威,郝桂菊. 用3ds Max建立城市房屋3维模型的方法[J]. 测绘与空间地理信息,2011,34(6):194-195,200)
- [9] Zhu Qing, Gao Yurong, Wei Yongjun, et al. Design of 3D Models for 3D GIS[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003,28(3):283-287(朱庆,高玉荣,危拥军,等. GIS中三维模型的设计[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2003,28(3):283-287)

- [10] Li Deren, Zhao Zhongyuan, Zhao Ping, et al. Design and Implementation of 3D Decision Support System for Urban Planning[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(5):505-510(李德仁, 赵中元, 赵萍, 等. 城市规划三维决策支持系统设计与实现[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(5):505-510)
- [11] Fan Chong, Wang Xue. Texture Mapping in 3D City Building[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2014, 7:1-4(范冲, 王学. 三维城市建筑物的纹理映射综述[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 7:1-4)
- [12] Sun Chunsheng, Wu Jun, Chen Danqing. Rapid Texture Retrieval for Building-Wall in 3D City Model[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(9): 766-770(孙春生, 吴军, 陈丹清. 三维城市建模中的建筑墙面纹理快速获取[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(9): 766-770)
- [13] Kang Zhizhong, Zhang Zuxun, Zhang Jianqing. The Rapidly Reconstructing Texture for Building Facades from Vehicle-based Image Sequence[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(11): 960-964(康志忠, 张祖勋, 张剑清. 基于车载序列影像的建筑立面纹理的快速重建[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(11): 960-964)
- [14] Jain A K, Vailaya A. Image Retrieval Using Color and Shape[J]. *Pattern Recognition*, 1997, 29(8): 1 233-1 244
- [15] Swain M J, Ballard D H. Color Indexing[J]. *International Journal Computer Vision*, 1991, 7(1):11-32
- [16] Smith A R. Color Gamut Transformation Pairs[J]. *Computer Graphics*, 1978, 12(3):12-19
- [17] Xie Junting, Wang Xiaohua. A Measurement of Color Similarity Based on HSV Color System[J]. *Journal of Hangzhou Dianzi University*, 2008, 2: 60-63(谢君廷, 王小华. 一种基于 HSV 空间的颜色相似度计算方法[J]. 杭州电子科技大学学报, 2008, 2:60-63)

A Method on a Rapid Generation of Exquisite Textures of Building's Roof Towards Planning

LIU Quanhai^{1,2} DENG Fei¹ LI Lou² RAN Huiming²

1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Changzhou Surveying and Mapping Institute, Changzhou 213002, China

Abstract: Considering the demands for precise spatial relationships and effective 3D visualization in 3D planning approval, two solutions of rapid and mass building roof texture generation is presented in this paper. In the first solution, the correspondence of object space and image space is built based on the collinearity equation of perspective projection, then, the best roof texture for texture mapping can be selected considering the optical axis direction, occlusion relation and image resolution. In the second solution, the roof texture database is built and used to synthesize roof texture with the smart matching technology. The experimental results with the 3D city models of Changzhou demonstrate that two sets of solutions for roof texture generation can meet the requirements of rapidly reconstructing texture of building.

Key words: digital city; urban planning; 3D modeling; texture mapping; texture matching

First author: LIU Quanhai, PhD candidate, specializes in digital city construction, urban 3D visualization. E-mail:672810610@qq.com

Foundation support: The National Twelfth Five-Year Science and Technology Support Project, No. 2012BAJ23B03; Science and Technology Project of Department of Housing and Urban-rural Development, No. 2013-S5-4.