

基于直线特征约束网格变形的航拍图像拼接

刘强, 韩敏

引用本文:

刘强, 韩敏. 基于直线特征约束网格变形的航拍图像拼接[J]. 控制与决策, 2022, 37(3): 669–675.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.1322>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

微型无人机集群低时延组网规划方法

A low delay networking planning method for micro UAV swarm

控制与决策. 2020, 35(11): 2696–2706 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1549>

基于动态网格k邻域搜索的激光点云精简算法

Laser point cloud simplification algorithm based on dynamic grid k-nearest neighbors searching

控制与决策. 2020, 35(12): 2986–2992 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0444>

一种基于稀疏系数匹配学习的图像去雾算法

An image dehazing method based on learning framework with sparse coefficient matching

控制与决策. 2020, 35(11): 2797–2802 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1764>

自适应直觉模糊相异直方图裁剪的图像增强算法

Adaptive intuitionistic fuzzy dissimilar histogram clipping image enhancement algorithm

控制与决策. 2021, 36(12): 2919–2928 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0845>

基于低秩矩阵恢复的视觉显著性目标检测与细化

Saliency object detection and refinement based on low rank matrix recovery

控制与决策. 2021, 36(7): 1707–1713 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1795>

基于直线特征约束网格变形的航拍图像拼接

刘 强¹, 韩 敏^{2†}

(1. 大连理工大学 电子信息与电气工程学部, 辽宁 大连 116023;

2. 大连理工大学 教育部工业设备智能控制与优化重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要: 针对常用航拍图像拼接算法在处理存在视差的复杂图像时会出现鬼影、失真、不自然的问题, 在 APAP (as-projective-as-possible) 算法的基础上, 添加全局相似性和直线结构保护约束, 提出一种基于直线特征约束网格变形的航拍图像拼接方法. 首先, 在图像重叠区域检测点、直线特征, 并估计单应性扭曲; 然后, 使用网格将图像划分成多个局部图像块, 建立网格优化模型, 根据网格顶点坐标集定义一个包含图像扭曲不同特征的总能量函数, 在 APAP 算法提供的局部单应性保证重叠区域对齐的前提下, 对非重叠区域借鉴 NISwGSP 算法的全局相似性约束思想, 并辅以直线结构约束提高拼接自然度; 最后, 在稀疏线性系统中求解能量误差最小化问题, 得到最优网格顶点集, 指导网格变形并完成航拍图像拼接. 实验结果表明, 所提出的变形方法能够减少重叠区域鬼影和非重叠区域失真问题, 相比 AutoStitch、APAP、AANAP、SPHP 等经典算法拼接效果更自然, 更能适应大视角的航拍图像拼接任务.

关键词: 航拍图像拼接; APAP; 畸形矫正; 网格优化; 全局相似性; 直线保护

中图分类号: TP751.1

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2020.1322

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 刘强, 韩敏. 基于直线特征约束网格变形的航拍图像拼接[J]. 控制与决策, 2022, 37(3): 669-675.

Linear-preserve-mesh warps in aerial image stitching

LIU Qiang¹, HAN Min^{2†}

(1. Department of Electronic Information and Electrical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China; 2. Key Laboratory of Intelligent Control and Optimization for Industrial Equipment of Ministry of Education, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract: Aiming at the problems of ghosting, distortion and unnaturalness in processing complex images with large parallax using the common aerial image mosaic algorithm, this paper proposes an aerial image mosaic algorithm based on linear feature constraint mesh deformation. The algorithm adds global similarity and linear structure protection constraints on the basis of the APAP (as-projective-as-possible) algorithm. Firstly, the features of points and lines are detected to estimate the homography distortion in the overlap region of the image. Then, the image is divided into several local image blocks to establish grid optimization models. According to the grid vertex coordinate set, a total energy function containing different features of image distortion is defined. On the premise that the local homography ensures the alignment of the overlap region provided by the APAP algorithm, the global similarity constraint of the NISwGSP algorithm as well as the linear structure constraint are used to improve the naturalness of stitching for the non-overlapping region. Finally, the optimal grid vertex set can be solved to guide the grid deformation and complete the aerial image mosaic in the sparse linear system. The experimental results show that the proposed algorithm can reduce the problems of ghosting and non-overlapping area distortion. Compared with AutoStitch, APAP, AANAP, SPHP and other advanced methods, the proposed algorithm is more natural in stitching effect and is more suitable for the aerial image mosaic task with a certain angle of view.

Keywords: aerial image; APAP; deformity correction; grid optimization; global similarity; line protection

收稿日期: 2020-09-21; 录用日期: 2021-01-08.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400903); 中央高校基本科研业务费专项基金项目(DUT20LAB114, DUT2018TB06).

责任编辑: 阳春华.

†通讯作者. E-mail: minhan@dlut.edu.cn.

0 引言

无人机航拍技术具有稳定性强、安全性高、图像清晰等优点,在各个领域得到广泛应用^[1].但是受到飞行高度和视角的限制,单张图像涵盖的内容较少,无法满足信息获取的要求.无人机航拍图像拼接技术,通过将不同角度拍摄的多幅具有重叠区域的航拍图像融合来获得具有大视角的高分辨率全景图像,可以解决上述问题^[2].

当前航拍图像拼接普遍采用 Gao 等^[3]提出的整体相似变换的思想,以 AutoStitch、Stitcher、ICE 等拼接工具为代表,通过构建一个单应性矩阵来最小化重叠区域的对齐误差,结合多频带融合完成拼接任务.这类方法鲁棒性较好,但需要满足重叠区域的场景没有视差和深度变化这一条件,在拼接具有视差的航拍图像时,容易出现鬼影和失真现象^[4].关于这个问题的解决方法,一是硬件升级,保证无人机相机的光心重合或选用超广角镜头,这类方法操作难度较大且费用高;二是算法优化,包括以局部单应性或网格变形为主导的小视差图像对齐和以缝合线为主导的大视差复杂结构图像对齐两种,这类方法配准精度高而且拼接效果良好,是当前研究的主流^[5].

基于算法优化的研究主要从重叠区域的对齐和非重叠区域的失真两个方向展开. Gao 等^[6]提出双平面假设,将场景分为背景和近景,然后分别计算单应性变换,以加权的方式实现图像无缝拼接.为了进一步提高对齐效果, Lin 等^[7]提出了一种平滑变化的仿射变换(SVA),用仿射变换代替全局单应性变换. Zaragoza 等^[8-9]提出了在移动直线线性变换(moving DLT)框架下的 APAP 算法,将图像划分为密集网格,分别计算其单应性变换,以特征点到网格中心的距离为权重,得到局部单应性变换指导图像拼接, APAP 算法不仅实现了图像高度对齐,更重要的是它将图像拼接问题转化成了网格优化问题,成为后续研究通过优化网格模型对图像进行更精确的对齐和调整的基础算法^[10].针对图像对齐的研究还包括文献[11-13]介绍的将图像对齐与最佳缝合线结合的方法,以及文献[14-15]介绍的具有一定视差容忍的变换方法,进一步提高了重叠区域的无缝对齐质量.

对于图像非重叠区域的扭曲失真问题,也是近年来的研究重点. Brown 等^[16]率先提出了使用球形和圆柱形变换矫正图像失真,但是会造成直线结构的弯曲. 2014年, Chang 等^[17]提出形状保持半投影变换(SPHP)算法,使用 APAP 网格划分,在重叠区域使用

单应项保持良好对齐,并利用相似项过渡到非重叠区域减小,图像失真. Lin 等^[18]提出自适应尽可能自然(AANAP)算法,结合全局单应项和自适应选择旋转角度的全局相似项矫正图像,使缝合后的图像更加自然. 文献[19]使用特征点和线段双特征作为场景的几何和结构信息,可以移植到许多现有的算法中,防止扭曲引起的不良形变. Chen 等^[20]借助 APAP 算法,将全局相似性和局部相似性作为约束项进行网格优化,提出 NISwGSP 算法,提高了多图拼接的自然度.

航拍图像拼接是为了尽可能在保证图像中景物不发生变化的前提下获得大范围的全景图像,因此无论是鬼影、失真、不自然都会影响拼接结果. APAP 算法较好地解决了鬼影问题,后续研究很大程度上以它提供的高度对齐为基础展开,且时间复杂度在可允许范围内,满足航拍图像拼接的精细化的要求.因此,本文以 APAP 算法为中心进行研究,针对其在拼接存在视差航拍图像时出现的问题,从非重叠区域的畸形矫正和图像场景的直线结构保护两个角度入手对其进行改进,提出一种基于直线特征约束网格变形的航拍图像拼接.首先采用 APAP 算法预配准航拍图像得到全局单应性变换和网格顶点集,然后建立网格优化模型,添加全局相似性约束和直线约束作为优化项,通过最小化能量函数得到最优网格顶点集,指导待拼接图像映射并完成像素融合.

1 APAP 算法

APAP 是一种高效的小视差图像拼接算法,在保证提取到足够多的特征点的前提下,具有非常好的局部对齐效果^[9],配准精度很高. APAP 算法的主要思想是使用网格对图像进行局部分块,通过局部相似性指导空间扭曲变形,实现图像重叠区域的对齐.算法流程如下:

step 1: 图像预配准. 采用 SIFT 算法对重叠区域进行特征检测和描述,减少时间复杂度并确保得到足够多的匹配点对,然后利用 RANSAC 算法提纯特征点作为配准像.

step 2: 计算全局单应性. 将内点坐标齐次化,通过 DLT 和 SVD 分解得到全局单应性矩阵.

step 3: 网格变形. 对图像进行网格划分,利用 Moving DLT 方法计算每个内点相对于网格中心的高斯权重, WSVD 分解得到每个网格的局部单应性矩阵,进而求解网格顶点像素坐标集.

step 4: 图像融合. 根据新的网格顶点坐标集,将图像映射到画布上并完成像素融合.

APAP算法较好地解决了图像拼接过程中产生的鬼影问题,配准精度高,但是当处理拍摄角度发生旋转或距离上存在视差等情况的航拍图像时,单依靠局部单应性变换会导致非重叠区域出现失真,景物物理结构发生扭曲不利于信息获取^[21].

2 本文算法

基于APAP算法能够较好地解决航拍图像的鬼影问题,本文提出一种基于直线特征约束网格变形的航拍图像拼接算法,从减少图像失真、保护场景直线结构以提高拼接自然度两个角度对APAP算法进行改进,算法流程如图1所示.首先,通过APAP算法预配准图像;然后使用网格将图像划分成局部图像块,建立网格优化模型,根据网格顶点坐标集定义一个包含图像扭曲不同特征的总能量函数,在APAP算法保证重叠区域对齐的前提下,借鉴NISwGSP算法的全局相似性思想矫正非重叠区域失真,并辅以直线结构约束提高拼接自然度;最后,在稀疏线性系统中采用快速迭代法求解能量函数,得到最优网格顶点集,指导网格变形并完成航拍图像拼接.

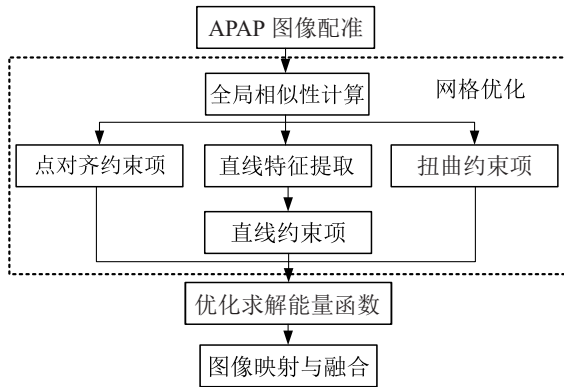


图1 本文算法流程

2.1 建立网格优化模型

假设 I 和 I' 分别为参考图像和待拼接图像,经过网格划分之后,使用 $2n$ 维向量

$$V_2 = [x_1y_1 \ x_2y_2 \ \dots \ x_ny_n]^T \quad (1)$$

表示 I_2 待优化的网格顶点坐标集,其中 n 为划分的顶点个数.同时使用向量

$$V_2' = [x_1'y_1' \ x_2'y_2' \ \dots \ x_n'y_n']^T \quad (2)$$

表示变形之后的网格顶点坐标集.这样对于任意一个采样点 p ,都可以使用它所在网格4个顶点坐标的双线性插值来表示,所以对采样点施加的约束就相当于对其所在网格顶点施加约束.同时,为了减少非重叠区域扭曲和直线结构保护,在函数中加入全局相似

和直线约束项,得到最终的总能量函数为

$$E'(V') = \lambda_{lh}E_{lh}(V') + \lambda_{ls}E_{ls}(V') + \lambda_{gs}E_{gs}(V') + \lambda_l E_l(V'). \quad (3)$$

其中: $E_{lh}(V')$ 、 $E_{ls}(V')$ 分别为局部单应性和局部相似性约束, $E_{gs}(V')$ 为全局相似性约束, $E_l(V')$ 为直线保护约束, λ 为各约束项的调节权重,权重越大对应的约束越强.

2.2 局部相似性约束项

局部相似性约束项有助于保持网格之间变换的连续性,将重叠区域的几何变换逐渐过渡到非重叠区域^[22].具体表达形式为

$$E_{ls}(V') = \sum_{E'} \|S_{jk}(v_k - v_j) - (v'_k - v'_j)\|^2. \quad (4)$$

其中: $(j, k) \in E'$ 为 I' 的边集合, v_j 和 v_k 为网格边缘的两个端点, S_{jk} 为网格边缘经历的相似变换,推导公式参见文献[23].

2.3 全局相似性约束项

全局相似项可以减少图像配准的失真问题,又称为失真项.本文在重叠区域以局部单应性和局部相似性为主,保证充分对齐,在非重叠区域,借鉴NISwGSP算法的思想以全局相似性为主,增强保持性,减少Moving DLT方法对齐过程中造成的大视差场景的图像畸变.具体表达形式为

$$E_{gs}(V') = \sum_{(j,k) \in E'} (w_{jk})^2 \|(v'_k - v'_j) - S_{I'}(v_k - v_j)\|^2, \quad (5)$$

$$w_{jk} = d_{jk} + \beta,$$

$$S_{I'} = s_{I'} \begin{pmatrix} \cos \theta_{I'} & -\sin \theta_{I'} \\ \sin \theta_{I'} & \cos \theta_{I'} \end{pmatrix}.$$

其中: d_{jk} 为网格边缘与重叠区域的距离, β 为调节量, $s_{I'}$ 和 $\theta_{I'}$ 分别为 I' 全局相似的尺度因子和2D旋转角,推导公式参考文献[20].

2.4 局部单应性约束项

局部单应项也称为点对齐项,通过增强点对应解决对齐问题.设 M 为APAP算法得到的匹配点集, $v'(p) = W_I V'$, $v'(q) = W_{I'} V'$ 为匹配点坐标集,则点对齐项的具体表达形式为

$$E_{lh}(V') = \sum_{(p,q) \in M} \|W_I V' - W_{I'} V'\|^2. \quad (6)$$

其中: W_I 和 $W_{I'}$ 分别为 p 、 q 所在网格的权值矩阵,有

$$W_{I'} = \begin{bmatrix} w'_1 & 0 & w'_2 & 0 & w'_3 & 0 & w'_4 & 0 \\ 0 & w'_1 & 0 & w'_2 & 0 & w'_3 & 0 & w'_4 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

2.5 直线保护约束项

直线保护项也称为线对齐项. 尽管相似性变换在一定程度上会减弱图像失真, 但对于景物不在一个几何平面的情况, 加入相似性约束之后, 场景直线结构的线条方向会发生明显变化, 导致拼接结果不自然. 原因是在图像映射时, 每个网格中的场景都是随着网格变换独立变换的, 若场景跨越两个及以上网格, 则无法保证原先场景中的直线几何结构在变换之后仍在一条直线上. 为了保护场景中的直线结构, 本文采用文献[19]提供的直线特征采样方法, 将直线结构引入重叠区域对齐的几何约束, 使单应性变换更加接近相机运动, 直线约束项表达式为

$$E_l(V') = \sum_{l_k \in L} \sum_{m_i \in M_k} \frac{S_i}{\|v'(m_1) - v'(m_0)\|},$$

$$S_i = \|(v'(m_i) - v'(m_0))(v'(m_1) - v'(m_0))\|. \quad (8)$$

其中: L 为采集到的线段集合, m_0 和 m_1 为采样线段的两个端点坐标, S_i 为当前点与 m_1 形成的四边形面积.

2.6 优化求解

由于能量函数中的所有项均为二次项, 可以采用稀疏线性求解器来解决优化问题^[23], 将约束项代入稀疏矩阵中, 得到

$$[J_{lj} \ J_{ls} \ J_{gs} \ J_l]^T V' = [0 \ 0 \ a_{gs} \ a_l]^T. \quad (9)$$

其中: J_{lj} 、 J_{ls} 、 J_{gs} 、 J_l 分别为约束项在网格顶点集 V' 对应的 Jacob 矩阵, a_{gs} 和 a_l 为全局相似项和直线约束项的残差向量, 通过求解上述方程组可以求得最优顶点集.

2.7 图像映射与像素融合

在得到最优网格顶点集之后, 首先将参考图像 I 映射到画布上; 然后以其端点作为坐标原点, 将得到的待拼接图像 I' 的网格顶点坐标减掉偏移量也映射到画布上完成图像映射; 最后通过简单线性加权融合得到全景航拍图像.

3 仿真实验与分析

图像拼接技术在无人机航拍图像处理领域占据举足轻重的地位. 本文为检验改进算法在航拍图像拼接中的有效性, 通过多组仿真实验, 对其性能进行测试和分析, 并将所提出算法与 AutoStitch、APAP、AANAP 和 SPHP 等经典算法的拼接结果进行

比较. 所用实验图像均为原算法作者提供的数据集, 以及多组使用无人机拍摄的具有一定视差的航拍图像序列, 分辨率为 $4\ 000 \times 3\ 000$.

3.1 参数设置

参数设置包括4个能量函数约束项比重参数和其他参数. 图2展示了网格优化模型的总能量函数中约束项占比不同时的拼接效果, 实验图像为 SPHP 算法作者提供的 park 数据集. 图2中 (a) 取 $\lambda_{ls} = 0.5$, $\lambda_{gs} = 50$; (b) 取 $\lambda_{ls} = 0.5$, $\lambda_{gs} = 500$; (c) 取 $\lambda_{lh} = 5$, $\lambda_{ls} = 5$, $\lambda_{gs} = 50$. 可以看出, 全局相似项的比重变化对结果影响较为突出, 局部单应项和相似项影响拼接的对齐细节. 经过多次实验对比, 本文参数设置为 $\lambda_{lh} = 5$, $\lambda_{ls} = 5$, $\lambda_{gs} = 100$, $\lambda_l = 5$, 结果如图2(d)所示, 图像对齐良好且失真有所改善.

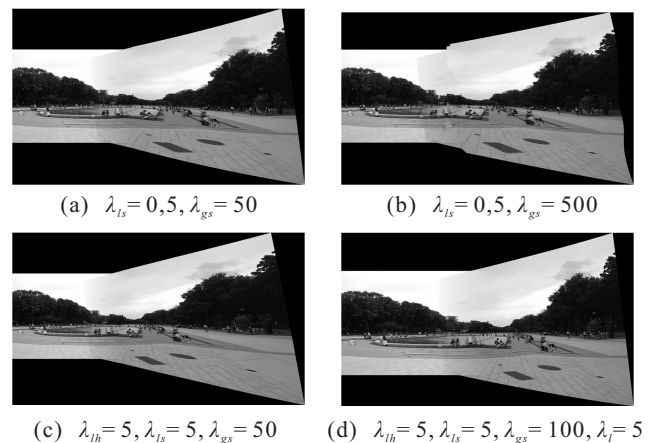


图2 优化参数不同占比的拼接结果

其他参数设置主要有网格尺寸、直线匹配长度阈值、RANSAC 和 APAP 算法相关参数等. 本文设置网格尺寸为 80×80 , 直线匹配长度阈值为 100, 其余参数设置与原文献保持一致.

3.2 时间复杂度对比

基于网格变形的图像拼接算法大致可以分为图像预配准、网格变形、图像映射与融合3部分, 相对 AutoStitch 等单应性变换方法, 拼接时间复杂度难免有所增加, 因此本文仅对 APAP、AANAP、SPHP 与所提出算法进行仿真实验比较. 考虑到所选算法与本文算法在图像预配准时所用的方法相同, 仅对后两个阶段的耗时进行比较, 具体数据如表1所示. 前8组实验数据为 APAP 算法和 SPHP 算法作者提供的数据集, 后3组为使用无人机拍摄的航拍图像.

由表1可以看出, 本文算法与 SPHP 算法分别有4组图像时间复杂度最低, AANAP 算法在航拍图像拼

表1 拼接算法时间复杂度对比 单位: s

图像数据集	APAP	AANAP	SPHP	本文算法
bridge	31.86	34.26	15.91	26.82
building	29.80	27.38	16.19	43.02
campus	41.99	37.64	20.23	38.50
carpark	4.17	5.47	7.91	3.26
disneysea	25.73	29.65	16.54	42.95
park	32.86	18.27	18.45	16.13
railtracks	4.52	7.42	9.43	2.91
temple	3.47	4.91	7.65	1.72
航拍图像1	39.96	22.72	25.63	37.23
航拍图像2	75.35	34.01	—	76.80
航拍图像3	66.99	41.72	—	76.24

接速度最快, APAP算法较慢. 分析其原因, SPHP算法在网格优化时仅使用局部和全局相似两个约束项, 因此拼接时间较短, 但算法有明显缺陷, 无法用于实际中视差较大的航拍图像拼接工作. 本文算法时间复杂度波动较大, 在处理直线结构少的图像时, 算法效率最高, 在拼接场景中含有较多直线几何结构的图像时间较长. 原因在于, 本文算法耗时主要集中在约束项计算和能量函数求解两部分, 当场景中的直线结构较多时, 直线采样会耗费许多时间, 但在实际拼接过程中可以根据景物特征, 调节直线采样阈值以降低时间复杂度. AANAP算法处理航拍图像时间复杂度最低, 是因为算法首先对图像进行降像素处理, 大大节省了运行内存, 但这也导致拼接之后的图像清晰度下降, 影响拼接质量. APAP算法尽管不需要进行网格优化, 但采用Moving DLT逐一计算每个网格的局部单应性变换会耗费大量时间. 综上所述, 本文算法不仅可以克服SPHP、AANAP算法在实际图像拼接中的局限性, 而且时间复杂度良好, 能够更好地完成航拍图像拼接工作.

3.3 图像对齐、失真矫正效果对比

为了验证所提出算法的对齐和失真矫正效果, 本文将其与上述算法进行仿真实验对比, 实验图像为APAP算法作者提供的carpark (653×490)、railtracks (800×600)数据集, 拼接结果如图3所示. 对齐区域与失真矫正区域分别使用白色和黑色矩形标出.

对比图3各图像白色区域, 本文算法和APAP算法对齐质量较好, 无明显鬼影出现; AANAP算法出现明显错位, 对齐效果最差; AutoStitch算法在拼接railtracks数据集时也出现明显鬼影; SPHP算法重叠

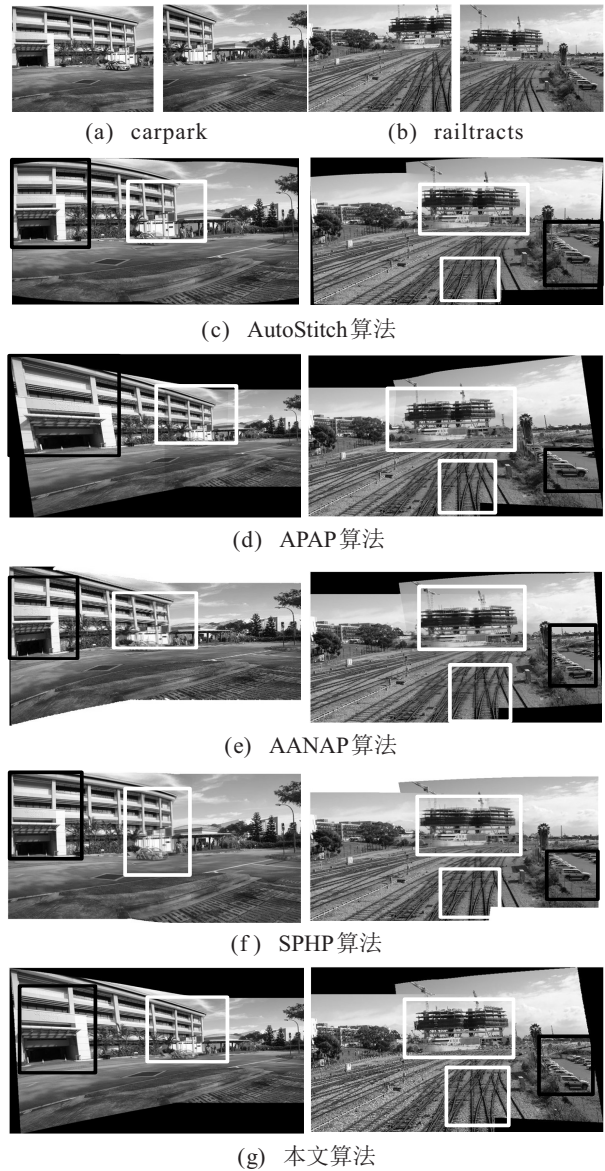


图3 图像对齐, 失真矫正效果对比

区域变得严重模糊, 影响图像精度. 对比图3各图像黑色区域, 除APAP算法有明显的失真之外, 本文与其他算法的图像畸形均得到了矫正, 原因在于APAP算法的局部单应性变换过于依赖特征点, 在非重叠区域变换可近似看成单应性变换, 因此会出现图中建筑、汽车等发生了严重变形, 而本文与其他算法均加入了全局相似性约束, 可以改善非重叠区域畸形. 综上所述, 本文所提出算法兼顾了图像对齐与失真矫正, 拼接结果更加精确.

3.4 图像直线保护效果对比

能否复现图像场景直接关系到信息获取的精度和准确度, 图4中尽管AANAP、SPHP算法做了失真矫正, 但是景物依旧出现了几何形变, 由此可见保护场景的直线结构对提升图像自然度有很大影响. 因此, 本文进行直线保护效果实验对比, 结果如

图4所示,实验图像为APAP算法作者提供的street数据集.由于AANAP算法未提供多图拼接方法,仅对比所提出算法与其他3种算法.

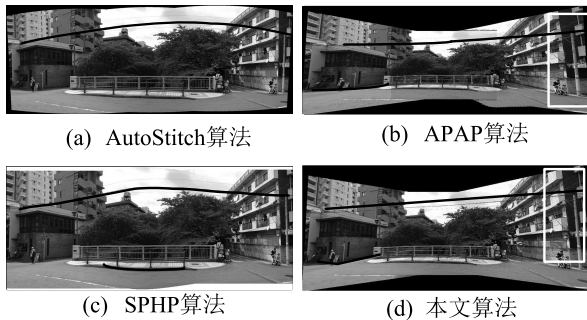
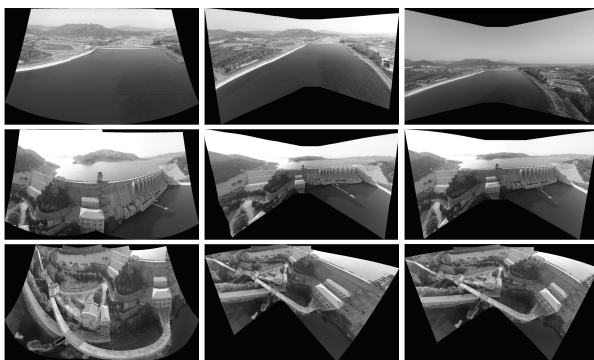


图4 图像直线保护效果对比

图4中黑色线条表示原先图像中场景的直线结构,可以看出无论是使用单应性变换的AutoStitch算法,还是使用网格变换的APAP、SPHP算法,在拼接之后原先直线结构都发生了明显弯曲;相比之下本文算法较好地解决了这个问题,直线结构与原先场景保持一致,拼接结果更加自然.原因在于,网格划分之后,每个网格有独立的变换矩阵,当直线跨过两个以上的网格时就会出现弯曲.本文算法通过直线保护约束将这些线条重新拉直,拼接后的图像能够较好地复现原来场景,并且具有一定视差容忍度.

3.5 航拍图像拼接

本文算法在一定程度上缓解了图像拼接的鬼影、畸形、不自然等问题,图5为将各算法应用于实际航拍图像拼接得到的全景图像.由于AANAP、SPHP算法拼接航拍图像时存在明显局限性,仅对AutoStitch、APAP、本文算法进行仿真实验.由图5可以明显看出,本文算法拼接得到的全景航拍图像对齐良好,扭曲变形较少,能够保持原先场景的直线几何结构,整体拼接质量更高.



(a) AutoStitch算法 (b) APAP算法 (c) 本文算法

图5 航拍图像拼接结果对比

4 结论

本文针对APAP算法在拼接存在一定视差的航

拍图像时,出现的非重叠区域失真和场景几何结构变形的的问题,对其进行改进,提出了一种基于直线特征约束网格变形的图像拼接算法.使用局部单应性、局部相似性、全局相似性以及直线特征保持4个约束项进行网格优化,经过稀疏线性系统求解得到能量最小的网格顶点集指导图像变形.实验结果表明,本文算法不仅保留了APAP算法良好的配准和对齐效果,对于非重叠区域的变形也得到了改善,并且可以完整保留原场景的直线结构.综上所述,本文算法提高了航拍图像拼接的精度和还原度,算法综合性能优于对比算法,具有一定的应用价值.

参考文献(References)

- [1] 韩敏, 闫阔, 秦国帅. 基于改进KAZE的无人机航拍图像拼接算法[J]. 自动化学报, 2019, 45(2): 305-314. (Han M, Yan K, Qin G S. A mosaic algorithm for UAV aerial image with improved KAZE[J]. Acta Automatic Sinica, 2019, 45(2): 305-314.)
- [2] Zhao J Q, Zhang X H, Cao C X, et al. Rapid mosaicking of unmanned aerial vehicle (UAV) images for crop Growth monitoring using the SIFT algorithm[J]. Remote Sensing, 2019, 11(10): 1226.
- [3] Gao J H, Kim S J, Brown M S. Constructing image panoramas using dual-homography warping[C]. Proceedings of 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Colorado Springs, 2011: 49-56.
- [4] 严春满, 郭宝龙, 易盟. 基于改进LP变换及自适应PCNN的多聚焦图像融合方法[J]. 控制与决策, 2012, 27(5): 703-707. (Yan C M, Guo B L, Yi M. Multifocus image fusion method based on improved LP and adaptive PCNN[J]. Control and Decision, 2012, 27(5): 703-707.)
- [5] 何川, 周军. 具有直线结构保护的网格化图像拼接[J]. 中国图象图形学报, 2018, 23(7): 973-983. (He C, Zhou J. Mesh-based image stitching algorithm with linear structure protection[J]. Journal of Image and Graphics, 2018, 23(7): 973-983.)
- [6] Gao J H, Kim S J, Brown M S. Constructing image panoramas using dual-homography warping[C]. Proceedings of 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Colorado Springs, 2011: 49-56.
- [7] Lin W Y, Liu S, Matsushita Y, et al. Smoothly varying affine stitching[C]. 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Colorado Springs, 2011: 345-352.
- [8] Zaragoza J, Chin T J, Tran Q H, et al.

- As-projective-as-possible image stitching with moving DLT[C]. Proceedings of 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Portland, 2013: 2339-2346.
- [9] Zaragoza J, Chin T J, Brown M S, et al. As-projective-as-possible image stitching with moving DLT[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2014, 36(7): 1285-1298.
- [10] 王玉, 李玉, 赵泉华. 基于区域的多尺度全色遥感图像分割[J]. 控制与决策, 2018, 33(3): 535-541.
(Wang Y, Li Y, Zhao Q H. Region multiscale-based segmentation of panchromatic remote sensing image[J]. Control and Decision, 2018, 33(3): 535-541.)
- [11] Gao J, Li Y, Chin T J, et al. Seam-driven image stitching[C]. Eurographics, 2013: 45-48.
- [12] Li N, Xu Y F, Wang C. Quasi-homography warps in image stitching[J]. IEEE Transactions Multimedia, 2018, 20(6): 1365-1375.
- [13] Lin K M, Jiang N J, Cheong L F, et al. Seagull: Seam-guided local alignment for parallax-tolerant image stitching[C]. Computer Vision-ECCV 2016. Amsterdam, 2016: 370-385.
- [14] Li J, Wang Z M, Lai S M, et al. Parallax-tolerant image stitching based on robust elastic warping[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2018, 20(7): 1672-1687.
- [15] Zhang F, Liu F. Parallax-tolerant image stitching[C]. Proceedings of 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Columbus, 2014: 3262-3269.
- [16] Brown M S, Lowe D G. Automatic panoramic image stitching using invariant features[J]. International Journal of Computer Vision, 2007, 74(1): 59-73.
- [17] Chang C H, Sato Y, Chuang Y Y. Shape-preserving half projective warps for image stitching[C]. Proceedings of 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Columbus, 2014: 3254-3261.
- [18] Lin C C, Pankanti S U, Ramamurthy K N, et al. Adaptive as-natural-as-possible image stitching[C]. Proceedings of 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Boston, 2015: 1155-1163.
- [19] Li S W, Yuan L, Sun J, et al. Dual-feature warping-based motion model estimation[C]. 2015 IEEE International Conference on Computer Vision. Santiago, 2015: 4283-4291.
- [20] Chen Y S, Chuang Y Y. Natural image stitching with the global similarity prior[C]. Computer Vision-ECCV2016. Amsterdam, 2016: 186-201.
- [21] Igarashi T, Moscovich T, Hughes J F. As-rigid-as-possible shape manipulation[J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3): 1134-1141.
- [22] 谭永宏, 曾喆昭. 基于弹性能量函数的非线性不确定系统控制方法[J]. 控制与决策, 2019, 34(6): 1247-1252.
(Tan Y H, Zeng Z Z. Nonlinear uncertain systems control method based on elastic energy function[J]. Control and Decision, 2019, 34(6): 1247-1252.)
- [23] Joo K, Kim N, Oh T H, et al. Line meets as-projective-as-possible image stitching with moving DLT[C]. 2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). Quebec City, 2015: 1175-1179.

作者简介

刘强(1995—), 男, 硕士生, 从事无人机航拍图像拼接的研究, E-mail: 510114583@qq.com;

韩敏(1959—), 女, 教授, 博士生导师, 从事复杂工业系统建模与控制、智能技术及优化算法等研究, E-mail: minhan@dlut.edu.cn.

(责任编辑: 孙艺红)