

面向大型装备的工业摄影测量 技术及实现*

史传飞,张丽艳,严俊,叶南

(南京航空航天大学机电学院,南京 210016)

[摘要] 为实现大型装备的三维数字化测量,在 OpenMVG 的基础上形成了一套适用于工业摄影测量的技术框架。首先对图像中的编码点进行识别定位,并以编码元身份号建立多图间的匹配关系,以此建立 OpenMVG 的数据接口。借助 OpenMVG 求解器,获得在归一化尺度下的编码点三维坐标,通过场景中布置的多根标尺,恢复实际尺度因子,最终获得编码点的空间坐标和图像序列间的变换矩阵以及相机成像参数,这些构成工业摄影测量框架的核心参数,并可满足工业摄影测量的诸多应用。以某型飞机实物作为试验对象,在 $10\text{m} \times 3\text{m} \times 4\text{m}$ 的空间内,图像规模超过 500 张,测量误差低于 0.085mm ,测量结果与目前最新的商用工业摄影测量系统进行了对比,在精度上达到了相同水平,此方法在效率上更具优势,且具有更好的扩展性。

关键词: 大尺寸;摄影测量;三维重建;OpenMVG;精度评价

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2018.19.024



史传飞

硕士研究生,主要研究方向为工业摄影测量。

随着航空航天军工和民用领域大型和巨型产品制造的精细化、产品外形设计的复杂化、对安装调试精度的高标准化,三维坐标测量不仅需要更大的测量范围和更高的测量精度,而且需要更简洁有效的测量方法和更快的测量速度^[1-2]。在航空航天设计制造领域,经常需要对跨度在 10m 以上的飞机等大型物体的三维几何信息进行高效、精确的测量,现阶段运用较为广泛的大尺寸空间测量仪器主要有激光跟踪仪、数字照相测量系统等^[3]。激光跟踪仪可以高精度地测量大尺寸空间,通常重复测量精度可达到 $5\mu\text{m}/\text{m}$,绝对坐标测量精度可以达到 $10\mu\text{m}/\text{m}$,是目前工程应用中大尺寸空间坐标测量精度最高的测量设备^[4]。但是激光跟踪仪除了激光束容易丢失,定位转换关系相对复

杂等缺点外,还有一个局限是只能进行逐点测量,要获得大型物体表面的三维点云,需要操作者手持激光靶球逐个到达指定位置,并且测量过程中被测物体与激光跟踪仪要保持相对静止,生产制造现场振动以及其他干扰会对测量结果产生较大的影响,此外,劳动强度大且效率低,因此这种逐点测量的方式无法满足现代工业精确、高效的测量要求。

数字照相测量系统是以计算机视觉为理论基础并借助于摄像机作为主要传感器件的测量方法,在不同方位对同一物体进行测量,经过图像处理和相关算法计算求取被测点的空间三维坐标^[5-7]。这种测量方法抛弃了传统的机械导轨式三维坐标测量模式,以简单、灵活的系统结构适应现代制造业对测量技术和

* 基金项目: 国家自然科学基金科学基金(51605222); 江苏省基础研究计划(自然科学基金)(BK20160799); 南京航空航天大学基本科研业务费(NS2015053)。

系统在测量精度、速度及操作便利性等多方面的要求。Noah 等^[8]和 Snavely^[9]运用递增式的多幅图像三维重建算法对大规模无序图像进行处理,实现了罗马斗兽场、埃及金字塔等大型场景的三维重建,并研发了 Bundler 系统,该系统在大规模图像序列三维重建方面做了诸多开创性的工作,但其系统集成化程度不够,可扩展性也存在局限。

单摄像机视觉测量系统以其系统简单、操作便利、成本低、测量精度相对较高等优点已经得到了广泛的研究并有成熟的产品,如德国 Gom 公司开发的 TRITOP[®] 系统(单目三维视觉测量系统),但受限于特定编码点的总数,一次只能对大型物体的某一局部区域进行较精确的三维重建。对于飞机等大型物体的三维重建,需要使用相机围绕待测物体以自由、多角度的方式拍摄得到大量图像,由于要保证各图像间具有一定的重叠和便于图像特征提取,得到的图像数量往往很大,这对三维重建求解框架提出了挑战。

针对工业摄影测量中存在的问题,本文提出一种基于 OpenMVG 开源库的多视图几何三维重建求解方法,对大规模图像序列进行处理,可实现对大型物体进行比较精确的整体三维重建,获取工业摄影测量应用所需的要素。本文技术具有与商用工业摄影测量系统相当的精度,并具有更高的计算效率和更好的扩展性。

三维重建的一般流程

运动恢复结构(Structure From Motion, SFM)是一种利用不同视角拍摄的一组图像重建场景的三维结构的方法^[10],其中增量式重建路线是一种包含迭代重建步骤的连续处理流程。

首先建立图像特征关系,检测

每幅图像中特征的位置及描述子,通过比较特征描述子的相似性建立不同点间的匹配关系,并根据同名像点建立多图间的匹配关系。在图像序列中选择最优的初始图像对进行两视图几何求解,建立最初的空间结构^[11-12]。在两视图几何结构的基础上,逐幅增加新图像,利用新增图片中二维特征点与已重建的三维点之间的对应关系,将其转化成 PnP 问题^[13],从而获得新增图片在两视图几何结构坐标系下的位姿,对新配准的图像进行三角法重建和光束平差优化^[14-15],对此过程进行迭代直至所有图像都被处理。图 1 为增量式 SFM 重建的基本流程。

工业摄影测量的技术框架

1 工业摄影测量的技术要求

1.1 精度要求

在一般的三维重建中,通常使用被测物体自身的特征作为测量特征,但对于高精度的工业摄影测量,被测物体自身的特征不能满足测量的需要。工业中的大型装备往往不具有明显、可识别的图像特征,不能对被测物体上的待测位置进行可靠识别和精确定位。因此,工业摄影测量技术需要在被测物体表面分布一些特征明显、易于识别的合作目标,可以保证和提高测量的精度和可靠性。对合作目标进行编码使其具有唯一的身份信息,便于对合作目标

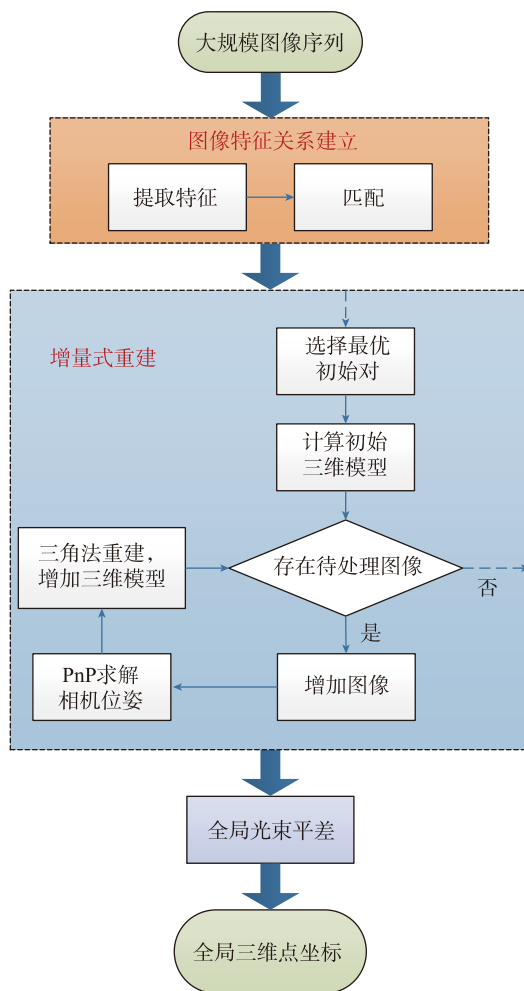


图1 增量式SFM重建流程图

Fig.1 Flow chart of incremental SFM reconstruction

自动准确地识别和测量^[16],图2给出了点分布型编码标志和同心圆环型编码标志。

相比于点状编码标志,环形编码标志具有明显的特征,识别算法简单、稳定,满足工业摄影测量的需求,因此本文使用同心圆环型编码标志作为合作目标,在被测场景中布置若干数量的圆形编码点。图3(a)为编码点的结构示意图,其定位中心为圆形点,编码位分布在中心圆点周围环形区域上,将编码带按角度等分;在图3(b)中,编码元前景为白色;背景为黑色,白色对应“1”,黑色对应“0”,在圆环上寻找一个起始点,按顺序解出15位的二进制码值,更换起始点对各二进制位进行解码,15个值中最小的即为该编码元的码值。为保证编码点的区分度,经过试验验证,最终挑选其中的400余个编码点作为一套编码点。本文采用文献[17]提出的标记点自动检测方法,对图像中编码点进行自动识别及定位,由于图像数量较大,编码点提取耗时较长,采用多线程技术同时对多幅图像进行编码点提取,大大提高了特征提取的效率。

1.2 规模性要求

在对大型产品的测量中,由于测量空间大,被测物体外形复杂,往往需要布置较多的编码点,受编码规则的限制,编码点个数有限,因此会出现编码点不足的情况。但在传统方法中,一般不允许场景中出现同一编码的编码点,否则具有同一编码的不同编码点在图像序列中会出现误匹配的情况。为解决编码点数量限制的问题,本文将被测物体划分为若干区域,不同区域分别布置一套编码点,对同一区域以自由、多角度的方式拍摄得到图像,分别完成对若干区域的图像采集,根据拍摄图片的时序性,确定编码点的唯一性。

2 基于OpenMVG的工业摄影测量技术及实现

OpenMVG库是一个由Moulon等^[18]开发的面向计算机视觉研究者的开源多视角立体几何库,信奉“简单、可维护”的原则,融合了众多解决计算机视觉和SFM技术的多视图几何工具和算法,提供了一套强大的接口,因此可以很好地运用到工程应用当中。OpenMVG重建流程的核心数据结构为SFM_Data, SFM_Data数据结构如图4所示。

2.1 特征提取与匹配

对于输入图像集 $I=\{I_i|i=1,\dots,N_i\}$,重建的第一步是检测每幅图像 I_i 中特征的位置 $x_j\in\mathbb{R}^2$ 和特征描述子 f_j 即 $F_i=\{(x_j, f_j)|j=1,\dots,n_{if}\}$,为了便于在多幅图像中唯一地被识别,特征应该在射影变换和几何变换下具有某些不变量。传统的

OpenMVG通常使用SIFT等算子作为特征描述子,无法满足工业摄影测量的精度要求,本文使用环形编码点作为测量特征,对图像中的编码点进行自动识别及定位,根据身份号建立不同图像中同名编码点间的匹配关系,得到匹配集、特征集以及图像信息集,并建立OpenMVG的SFM_Data数据接口作为下一步的输入。

2.2 增量式重建

增量式重建的目标是获得各图像的相机位姿 $P=\{P_c\in SE(3)|c=1,\dots,N_p\}$ 和相机内参(主点位置、焦距、镜头畸变) $A=\{A_c|c=1,\dots,N_p\}$ 以及重建出的场景点 $X=\{X_k\in\mathbb{R}^3|k=1,\dots,N_x\}$ 。

增量式重建的第1步是两视图几何求解,两视图几何的目的是通过选取两幅不同视角下拍摄同一场

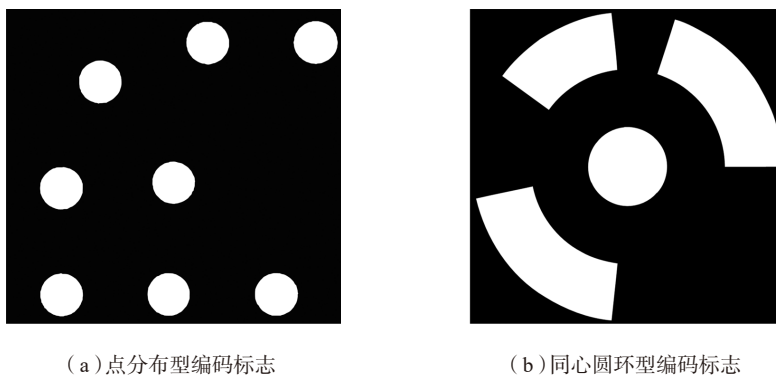


图2 典型编码标志类型
Fig.2 Typical coded mark

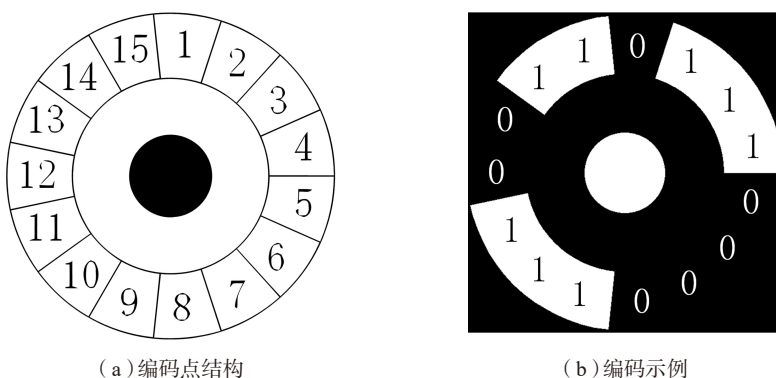


图3 编码点
Fig.3 Coded points

景的图像对,建立最初始的空间结构,经典且常用的方法有5点算法或8点算法。由于三维重建的鲁棒性、精度及性能都取决于初始图像对的选择,选择适当的初始图像对至关重要。初始图像对的选择既要保证有足够多的匹配点对,也要有较大的空间位移(即大基线),从而保证初始重建稳定精确。因此,在大规模图像中寻找合适有效的初始图像对成为两视图几何求解中的关键问题。

第2步是多视图几何求解,多视图几何求解的目的是在两视图几何结构的基础上,以增量的方式获得其他视图的空间结构。利用新增图片中二维特征点与已重建的三维点之间的对应关系,将其转化成PnP问题,从而获得新增图片在两视图几何结构坐标系下的位姿。由于二维点与三维点对应关系经常受野值点干扰,相机位姿的求解通常使用RANSAC和最小姿态解算器等进行鲁棒估计。

输入匹配集、特征集以及图像信息集,借助OpenMVG库的多视图求解器,获得在归一化尺度下的编码点三维坐标。

2.3 全局优化

相机姿态求解中的不确定因素

会传递到三维重建上,反之亦然,并且新增的三维重建也会影响初始相机姿态,若没有进一步的优化,重建结果将会迅速漂移到不可恢复的状态。使用光束平差法对相机参数及空间点坐标进行全局优化,使得重投影误差最小。优化方程如下:

$$\arg \min_{A_{ci}, P_{ci}, X_j} \sum \rho_j \left(\left\| \pi(A_{ci}, P_{ci}, X_j) - x_j \right\|^2 \right) \quad (1)$$

$$(X_j \in \mathcal{X}, P_{ci} \in \mathcal{P}, A_{ci} \in \mathcal{A})$$

式中函数 π 为场景点到图像空间的投影关系, ρ_j 为能量损失函数,使用LM算法求解光束平差问题。

2.4 尺度恢复

在数字近景摄影测量系统中,重建得到的三维空间信息与实际的三维空间信息之间并不是完全等的关系,而是一种相似的关系,它们之间相差一个比例系数。为了得到物体的实际三维空间信息,需要在拍摄场景内摆放标尺来提供重建结果与真实物体间的比例系数。

最终获得编码点的空间坐标和图像序列间的变换矩阵以及相机成像参数,这些构成工业摄影测量框架的核心参数,并可满足工业摄影测量的诸多应用。算法1——基于OpenMVG的工业摄影测量算法具体介绍了基于OpenMVG的工业摄影测量算法步骤。

Input: 输入图像信息集 I
Output: 编码点空间三维坐标 X , 各相机位姿 P

- (1) $M_{ab}, F_i \leftarrow \text{IdentifyCode}(I)$
编码点提取及匹配
- (2) $I_{\text{initial}}, F_i \leftarrow \text{AutomaticInitial}$
Pair Choice (I, M_{ab})
自动挑选最优两视图
- (3) $\hat{X}_{\text{initial}}, P_{\text{initial}} \leftarrow \text{MakeInitial}$
Pair3D(I_{initial})
两视图几何求解
- (4) while $I_{\text{add}} \leftarrow \text{FindImagesWithPossibleResection}(I_{\text{remain}})$
寻找可重建的视图
- (5) $\hat{X}_{\text{add}}, P_{\text{add}} \leftarrow \text{Resection}(I_{\text{add}})$
重建新增图像
- (6) end while
直至重建完所有视图
- (7) BundleAdjustment 光束平差优化
得到归一化尺度下编码点三维坐标
- (8) RecoverScale 恢复尺度因子

3 精度评价

在大场景中一根标尺只能约束局部区域的尺度,无法代表整体性,本文将标尺上的编码点之间的距离作为尺度基准,使用多根标尺来约束整个被测物体的尺度,达到平差效果,从而提高整体精度。

本文将被测空间分为 p 个部分,在上文重复编码点唯一性识别问题解决的基础上,在各个部分的测量中重复使用 s 根标尺,相当于在整个被测空间中布置了 n_r ($n_r = s \times p$) 根标尺。按式(2)求得实际尺度因子,并根据式(3)恢复所有编码点的空间三维坐标。

$$\lambda = \frac{1}{n_r} \sum_{q=1}^{n_r} \frac{L_q}{\hat{L}_q} \quad (2)$$

$$X_i = \lambda \hat{X}_i \quad (3)$$

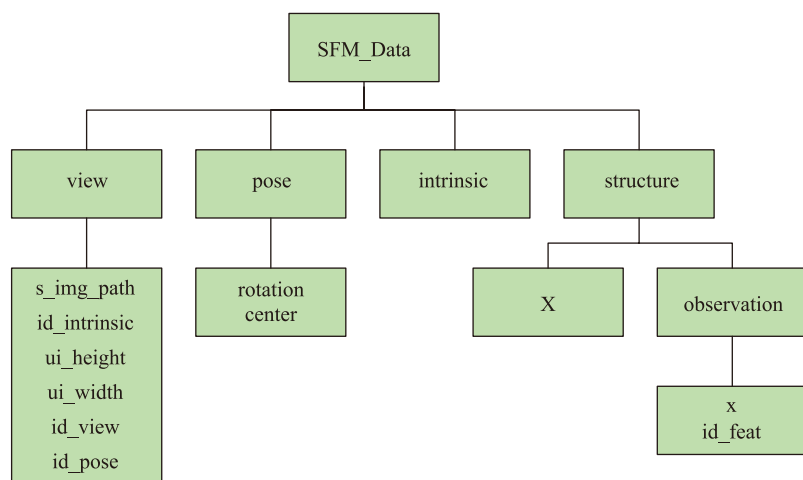


图4 SFM_Data数据结构

Fig.4 Data structure of SFM_Data

试验结果与讨论

为了验证本文系统测量的稳

定性和精确水平及对大规模图像的处理能力,本文以某型直升机实物为测量对象,被测物体空间约为 $10\text{m} \times 3\text{m} \times 4\text{m}$,使用的数码相机图像分辨率为 $6000\text{pixel} \times 3024\text{pixel}$,镜头焦距为 24mm ,像素物理尺寸为 $3.9\mu\text{m}$,拍摄距离约为 2m 。

1 试验方案

1.1 编码点及标尺布置

在测量过程中用到了编码点,由于一套编码点数量有限,本文在不同区域分别布置一套编码点和两根标尺。两根标尺的长度分别为 861.115mm 、 860.916mm ,分别布置在场景的两侧。图5为场景中布置的编码点及标尺。

1.2 测量规划

将飞机分为前后两段如(见图6),在两段内分别用单数码相机围绕场景从不同角度自由拍摄得到一组图像,并保留交界处的编码点,用于实现两组数据的拼接。围绕飞机一共拍摄图像568张,其中前段385张,后段163张,中间过渡段20张。

1.3 坐标求解

对采集的图像,获取图像基本信息再进行编码点提取以及匹配,进行增量式重建,并恢复尺度因子,

得到编码点三维空间坐标,坐标求解的流程如图7所示。

2 测量结果与讨论

经过本文工业摄影测量系统的求解,可获得编码点的空间三维坐标,图8为本文方法重建出的编码点,并标识出4根标尺的位置。从表1可以看出,4根标尺的平均误差为 0.059mm ,最大误差为 0.081mm ,最小误差为 0.037mm ,因此在

$10\text{m} \times 3\text{m} \times 4\text{m}$ 的空间内,本文方法的测量误差低于 0.085mm ,这说明本文方法在实际工程中是适用的。

分别将每根标尺作为基准,测量其他标尺的长度,结果见表2。从表2中可以看出,标尺误差最大为 0.15mm ,最小为 0.019mm ,在同一段内的标尺误差较小,不同分段内标尺误差较大,由此可见通过公共点拼合的方法会影响整体精度,本文整体解算的方法提高了整体精度。使用单根标尺恢复尺度,与本文多根标尺恢复尺度的方法相比误差要明显提高,使用多根标尺评价精度起到了平差的效果,从而提高了编码点重建的精度。

为对比本文方法的精度及效率,使用商用 TRITOP[®] 系统对相同的数据集进行处理。从表3可以看出,本文方法与 TRITOP[®] 系统精度相当,计算效率明显提高,并且 TRITOP[®] 系统只能对前后两段分别求解再通过公共点拼合,本文方法能够对所有图像进行整体解算,从而保证了整体精度。

将本文方法重建出的部分关键编码点与 TRITOP[®] 系统重建的点进行对比,从表4可以看出,在



图5 编码点及标尺

Fig.5 Coded points and scale bars

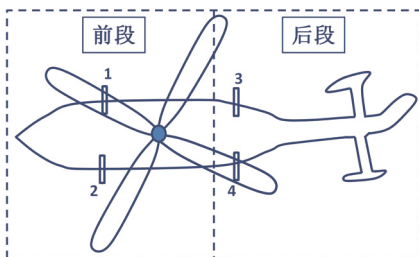


图6 区域划分

Fig.6 Division of the area

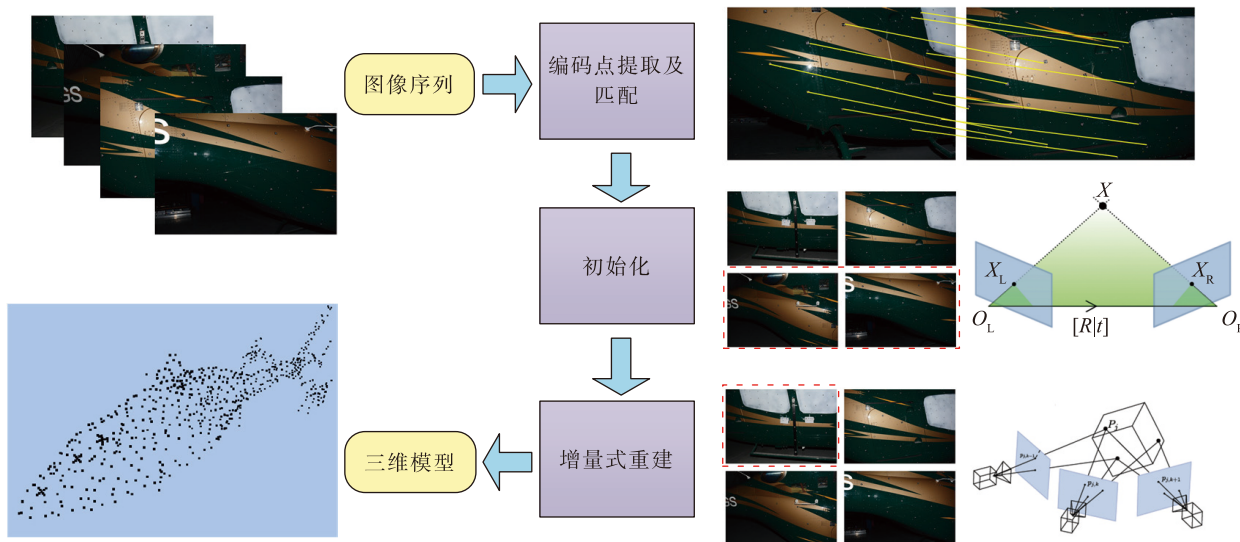


图7 坐标求解流程图

Fig.7 Flow chart of solving coordinates

7.0m × 1.8m × 3.1m 的空间范围内, 编码点间的平均偏差为 0.186mm, 最大偏差为 0.489mm, 标准偏差为 0.114mm。从图 9 可以看出大多数点的偏差在 ±0.2mm 内, 可以满足大型装备工业摄影测量的要求。

结论

(1) 本文结合编码点识别技术、OpenMVG 多视图求解器、多根标尺

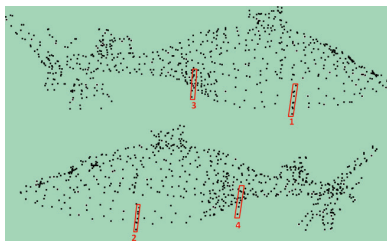


图8 重建出的编码点及标尺

Fig.8 Reconstruction of coded points and scale bars

表1 标尺尺度恢复结果

Table 1 Reconstruction results of scale bars

标尺	标称距离/mm	重建距离/mm	误差/mm
1	861.115	861.152	0.037
2	860.916	860.997	0.081
3	861.115	861.065	-0.050
4	860.916	860.847	-0.069

表2 标尺长度测量结果

Table 2 Measured results of scale bars

标尺	待测标尺	测量值/mm	误差/mm
1	2	860.959	0.044
	3	861.028	-0.087
	4	860.810	-0.106
2	1	861.071	-0.044
	3	860.984	-0.131
	4	860.766	-0.150
3	1	861.202	0.087
	2	861.046	0.131
	4	860.896	-0.019
4	1	861.221	0.106
	2	861.065	0.150
	3	861.134	0.019

评价方法, 实现了一种对大尺寸装备的三维数字化测量方法。对编码点进行高精度提取以及匹配, 利用 OpenMVG 求解器求解归一化三维坐标, 并通过多根标尺恢复编码点全局三维坐标, 可满足工业摄影测量的诸多应用。

(2) 在本文中高精度的编码点定位、统一的 OpenMVG 多视图求解框架、光束平差全局优化以及多根标尺评价方法共同作用下, 本文方法获得了良好的精度。以某型飞机实物为试验对象, 在 10m × 3m × 4m 的空间内, 图像规模超过 500 张, 测量的误差低于 0.085mm, 测量结果与目前最新的商用工业摄影测量系统进行了对比, 本文方法在精度上达到了相同水平, 但在效率上更具优势, 且具有更好的可扩展性。

参考文献

- [1] 黄桂平, 范生宏. 大尺寸三维测量设备及其在飞机制造中的应用[C]// 第3届民用飞机先进制造技术及装备论坛, 深圳, 2011.
HUANG Guiping, FAN Shenghong. Large-scale 3D measurement equipments and their application in aircraft manufacturing[C]// The 3rd Advanced Manufacturing Technology and

Equipment Forum for Civil Aircraft, Shenzhen, 2011.

[2] 解则晓, 韩振华, 高翔. 光笔式单目视觉测量系统的关键技术[J]. 中国光学, 2013, 6(5): 780-787.

XIE Zexiao, HAN Zhenhua, GAO Xiang. Key technologies of monocular vision measurement system with light pen[J]. Chinese Optics, 2013, 6(5): 780-787.

[3] 郝继贵, 郭磊, 叶声华. 现场条件下大空间三维精密定位原理与方法[J]. 光学学报, 2009, 29(7): 1872-1876.

ZHU Jigui, GUO Lei, YE Shenghua. Principle and implementation method of three-dimensional precision positioning in large field working space[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(7): 1872-1876.

[4] 甘霖, 李晓星. 激光跟踪仪现场测量精度检测[J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35(5): 612-614.

GAN Lin, LI Xiaoxing. Site measuring accuracy testing of laser tracker[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2009, 35(5): 612-614.

[5] ROBERTS R, SINHA S, SZELISKI R, et al. Structure from motion for scenes with large duplicate structures[C]//IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Reco, New York, 2011.

[6] JIANG N, TAN P, CHEONG L. Seeing double without confusion: Structure-

表3 测量结果对比

Table 3 Comparison of measurement results

参数	方法	标尺精度/mm	时间/min
前段 395 幅图像	TRITOP®	0.01	8
	本文方法	0.021	1.5
后段 173 幅图像	TRITOP®	0.01	4
	本文方法	0.018	1
整体 568 幅图像	TRITOP®	—	—
	本文方法	0.06	3

表4 关键编码点精度对比

Table 4 Accuracy comparison of key coded points

编码点个数	尺寸范围	最大偏差/mm	平均偏差/mm	标准偏差/mm
341	7m × 1.8m × 3.1m	0.489	0.186	0.114

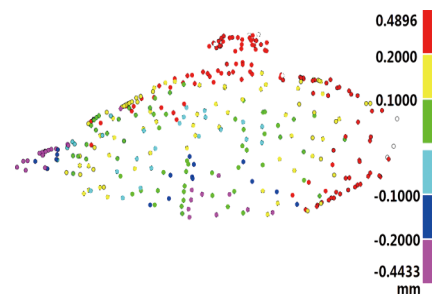


图9 编码点精度对比

Fig.9 Accuracy comparison of coded points

from-motion in highly ambiguous scenes[C]// IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Reco, New York, 2012.

[7] ABIDI M A, CHANDRA T. A new efficient and direct solution for pose estimation using quadrangular targets: Algorithm and evaluation[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1995, 17(5): 534–538.

[8] NOAH S, STEVEN M S, RICHARD S. Modeling the world from internet photo collections[J]. International Journal of Computer Vision, 2007, 80: 189–210.

[9] SNAVELY K N. Scene reconstruction and visualization from internet photo collections: A survey. IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications (CVA), 2011, 3: 44–66.

[10] SCHONBERGER J L, FRAHM J M. Structure-from-motion revisited[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, New York, 2016.

[11] ABDEL-WAHAB M, WENZEL K, FRITSCH D. Efficient reconstruction of large unordered image datasets for high accuracy

photogrammetric applications[C]//ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne: XXII ISPRS Congress, 2012.

[12] HARTLEY R I, ZISSERMAN A. In defense of the 8-point algorithm[C]// Proceedings of the 5th International Conference on Computer Vision. Boston: IEEE Computer Society Press, 1995.

[13] LEPETIT V, MORENO-NOQUER F, FUA P. EPnP: An accurate O(n) solution to the PnP problem[J]. International Journal of Computer Vision, 2009, 81(2): 155–166.

[14] 叶南, 张丽艳. 基于单数码相机
的板料成形应变测量关键技术及其系统 [J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(11): 2408–2415.

YE Nan, ZHANG Liyan. Sheet metal forming strain measurement key technique using single hand-held digital camera[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(11): 2408–2415.

[15] LOURAKIS M, ARGYROS A A . The design and implementation of a generic sparse bundle adjustment software package

based on the Levenberg-Marquardt algorithm: Technical Report 340 [R]. Heraklion: Institute of Computer Science-4th, 2004.

[16] FORBES K, VOIGT A, BODIKAN. An inexpensive, automatic and accurate camera calibration method[C]//Proceedings of the Thirteenth Annual South African Workshop on Pattern Recognition. Prasa, 2002.

[17] 周玲, 张丽艳, 郑建冬, 等. 近景摄影测量中标记点的自动检测[J]. 应用科学学报, 2007, 25(3): 288–294.

ZHOU Ling, ZHANG Liyan, ZHENG Jiandong, et al. Automated reference point detection in close range photogrammetry[J]. Journal of Applied Sciences, 2007, 25(3): 288–294.

[18] MOULON P, MONASSE P, PERROT R. OpenMVG: open multiple view geometry[C]//International Workshop on Reproducible Research in Pattern Recognition. Berlin: Springer, 2016.

通讯作者: 叶南, 博士、硕士生导师, 研究方向为三维数字化测量、机器视觉检测、逆向工程等, E-mail: yen@nuaa.edu.cn.

Industrial Photogrammetry Technology and Its Implementation for Large-Scale Equipment

SHI Chuanfei, ZHANG Liyan, YAN Jun, YE Nan

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

[ABSTRACT] In order to achieve 3D digital measurement of large-scale equipment, based on OpenMVG (Open Multiple View Geometry), a technical framework, which is suitable for industrial photogrammetry, is generated. Firstly, the coded points in the set of images were identified and positioned, the matching relationships between multiple images were built by ID number, and the data interface for OpenMVG was established. Then, by means of OpenMVG solver, the 3D coordinates of the coded points at the normalized scale were solved. The actual scale factor was restored by using multiple scale bars arranged in the scene. Finally, the coordinates of the code points, the transformation matrix between the images and the camera parameters were obtained, which constitute the core parameters of the industrial photogrammetry framework and can meet many applications of industrial photogrammetry. Taking an airplane as a test object, which is in the space of $10\text{m} \times 3\text{m} \times 4\text{m}$, the number of images by photogrammetry capturing is more than 500. The finally measured error with our method is less than 0.085mm. Compared with the current commercial photogrammetry system, the proposed method can achieve the same accuracy level with greater efficiency and expansibility.

Keywords: Large-scale; Photogrammetry; Three-dimensional reconstruction; OpenMVG (Open Multiple View Geometry); Accuracy assessment

(责编 铃兰)