



# “华南虎”照片的摄像测量研究

李立春, 张小虎, 刘晓春, 桂阳, 尚洋, 李强, 于起峰

国防科技大学航天与材料工程学院精密光测图像技术研究中心, 长沙 410073

**摘要** 2007年10月, 华南虎照片一经公布, 即引起各方关注。“挺虎派”和“打虎派”都极力从各个角度证明照片中华南虎的真伪, 但采用的大都是定性分析方法。本文采用摄像测量方法, 对照片中的华南虎进行了三维测量和重建, 并进行了华南虎照与年画虎的相似性分析、虎照的细节变化分析等方面的研究。由于虎照之间的拍摄位置和角度变化不大, 老虎部分的分辨率较低并存在模糊, 用常规摄像测量方法难以重建三维结果。本文针对虎照实际情况, 采用整体解算相机系统参数、局部重建老虎的方法, 得到了满足精度要求的结果。结果表明, 重建老虎不同部位的测量点均基本位于一个与像面基本平行的平面上。模拟场景实验证实了该重建方法正确可信。同时, 根据平面物体的成像模型对虎照与年画虎进行了仿射校正和对比分析, 表明照片虎与年画虎主纹理的骨架、轮廓基本重合, 相似率为 0.998 6, 满足平面变换条件。对眼部存在的差异也进行了分析。

**关键词** 摄像测量; 三维重建; 华南虎; 数码照片; 仿射变换

中图分类号 TP391

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2008)01-0059-09

## Videometric Research on the Digital Photos of South China Tiger

LI Lichun, ZHANG Xiachu, LIU Xiaochun,  
GUI Yang, SHANG Yang, LI Qiang, YU Qifeng

Research Center of Precise Optical Measurement and Image Technique, College of Aerospace and Material Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

**Abstract** The photos of a South China tiger have attracted a wide interest among scientists and scholars since they were released in October 2007. Both pros and cons of the tiger photos have so far made only qualitative analyses on whether the photos of the South China tiger are based on a real or fake tiger. This paper carries out three-dimensional measurements and reconstructions of the South China tiger from the photos using the videometrics, and also quantitative analyses on the similarity and difference of details of the tiger in the photos and that in the poster. Then the results of quantitative analysis are presented. It is unfeasible to reconstruct the tiger with high precision by conventional methods, considering the small viewpoint changes of photos, the low resolution of the tiger in the photos and the blur of image. To achieve a precise enough reconstruction of the tiger for its 3D recognition, an approach is employed, which computes multi-view geometry parameters from the feature points in

the whole tiger photos, but reconstruct the tiger using local features. The results show that all the points on the face, trunk and legs of the tiger reconstructed from photos are nearly on a same plane which is parallel to the image plane. The experiments of simulating scenes have confirmed the reliability of the reconstruction. At the same time, the affine rectification and contrast analysis are made on the tiger images in the photos and the poster tiger, and the similarity coefficient is 0.998 6. It is shown that the main texture framework and contour of the tiger in the photos agree well with those of the poster tiger. In addition, the difference of eyes of the tigers in the photo and the poster is analyzed.

**Keywords** videometrics; 3D reconstruction; South China tiger; digital photos; affine transform

### 0 引言

陕西镇坪“华南虎照片”(以下简称“虎照”)自2007年10月公布以来, 随即演变为社会热点问题, 吸引了许多学者、媒体人士、普通民众的关注<sup>[1-3]</sup>。围绕照片及其中老虎的真伪展开了激烈的争论, 形成了所谓“挺虎派”和“打虎派”。11月, 40幅数码照片在网络出现<sup>[4]</sup>, 有关单位也组织了多方专家对其进行了研究鉴定<sup>[5]</sup>, 但鉴定并未得到权威部门的认可, 争论仍未平息, 国家林业局已要求陕西方面对虎照进行鉴定。

“打虎派”对虎照最大的质疑是该照片拍摄自一个平板模型画虎而非真正的实体华南虎。中山大学的赖剑煌等根据模式分类方法对虎照与年画虎进行了对比分析, 认为二者的脸部和背部的纹理特征点几何结构相似度很高<sup>[6]</sup>。中国摄影协

收稿日期: 2007-12-20

作者简介: 李立春, 长沙市国防科技大学航天与材料工程学院, 博士研究生, E-mail: lichunmail@163.com; 于起峰(通讯作者), 长沙市国防科技大学航天与材料工程学院, 教授, E-mail: jmgc108@vip.163.com

会、色影无忌等机构的研究人员从图像的色彩特征等方面进行了研究分析。但就虎照是平面模板虎或立体虎成像这个问题而言,这些分析和结论都是定性的,没有定量分析结果<sup>[6]</sup>。

如果能从这些照片中测量重建出老虎在空间的实际三维结构,将会对照片中的华南虎是平板模型虎还是实际老虎的问题给出有力的回答。由于摄影是一个将三维场景投影到二维平面的过程,根据摄影(摄像)测量学原理,从单幅照片无法恢复出三维场景,但从多幅不同角度拍摄的照片则可以恢复出三维场景。

传统摄影测量需要已知照片的拍摄位置和角度信息,才能够利用交会测量方法对照片中的目标进行三维测量。虎照中虽然存在不同位置、不同角度的成像,但成像的位置、相机姿态等条件都未知,因此传统的摄影测量方法难以完成老虎和场景的三维结构测量。

摄像测量中基于多视图的三维重建方法不需要传统摄影测量中的严格内、外参数标定,方法灵活<sup>[7]</sup>,在三维测量定位、目标结构重建等方面均有广泛应用。其原理是根据成像过程不同图像自身所满足的约束条件,解算三维空间场景中目标的形状、位置、姿态等参数。

本文采用多视图三维重建中的基于两视图、三视图和多视图等方法,通过特征提取、匹配和三维解算两个过程,对虎照进行了三维结构重建。针对照片中老虎分辨率较低,深度和拍摄角度变化较小,因而容易造成解算不稳定,常规摄像测量方法难以进行三维重建的问题,采用了全局解算、局部重建的方法。通过提取老虎附近较大范围空间内有较大景深变化的特征点(如树杈、枝节等)解算多视图几何关系,大大提高了求解精度,最终求解得到老虎在三维空间的位置、结构等参数的定量结果。这种重建策略保证了在虎照弱交会条件下得到满足精度要求的三维重建。据此可以对照片中老虎是平面或立体这一问题给出客观的评判。

本文算法在工程上已有成功应用。华南虎数码照片是在较多位置上分别成像的,相机内参数已知,具备了三维重建的条件。本文对两视图、三视图和四视图方法的重建结果进行了比较,同时根据重建结果用数码相机在实验室模拟华南虎成像条件,进行了立体和平面物体的拍摄重建实验,证实了本文算法处理结果的准确性。

同时,本文根据摄像测量中平面目标成像原理,对虎照与年画虎的异同进行了分析。

## 1 基于序列图像的三维重建算法

### 1.1 基于两视图的三维重建算法

#### 1.1.1 两视图几何原理

如图 1 所示,在两视图几何关系<sup>[8]</sup>中,两幅图像间的几何关系可由  $x^T F x = 0$  表示,其中  $F$  为基础矩阵, $x$  和  $x'$  为同一目标在两次成像上的像点坐标。根据相机内参数和基础矩阵,可以直接求解  $E$ , 求解关系式为  $E = K_2^T F K_1$ , 其中  $K_1$  和  $K_2$  分

别为两次成像时相机的内参数矩阵。两次成像之间相机的运动由旋转矩阵  $R$  和平移向量  $t$  表示,本质矩阵  $E$  与相对旋转和平移的关系为  $E = [t]_x R$ 。其中  $[t]_x$  表示向量  $t$  构成的反对称矩阵。因此,  $E$  可以分解得到相机旋转运动  $R$  和平移运动  $t$ 。基于两视图的三维重建算法的关键是求解基础矩阵  $F$  和本质矩阵  $E$ 。

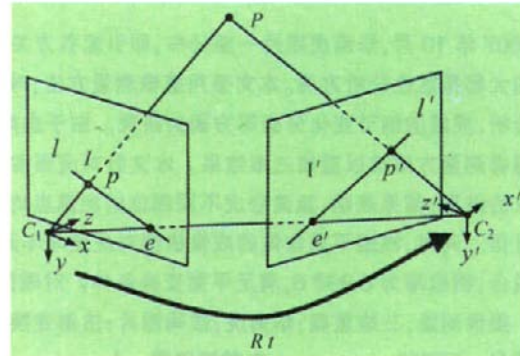


图 1 两视图几何关系示意图

Fig. 1 Sketch map of the epipolar geometry for two-view

#### 1.1.2 基于两视图的三维重建

基础矩阵  $F$  与匹配点  $x \ x'$  的关系为  $x^T F x = 0$ , 给定不少于 8 组对应的匹配点时即可组成方程组求解。归一化线性算法通过对匹配点平移和尺度变换进行数据归一化,使线性方程保持了数值良性,减少了噪声干扰,精度上达到了与优化方法接近的程度,故应用广泛<sup>[9]</sup>。

本文采用 RANSAC(Random Sample Consensus)鲁棒线性  $F$  求解算法,可以保证求解  $F$  的鲁棒性,实现高精度鲁棒性解算,并获得用于运动优化的匹配内点集合。根据已知的相机内参数和  $F$  求解本质矩阵并分解可获得相对运动,在对运动优化后构成准确的投影矩阵,再通过三角交会实现三维重建<sup>[9]</sup>。该算法的详细步骤如下。

1) 两视图特征点提取、匹配。

2) 根据匹配点列  $(x_i, x'_i)$  用归一化线性算法结合 RANSAC 方法求解基础矩阵  $F$ 。

3) 引入两视图的成像内参数,解算本质  $E$  并分解计算相对运动  $R, t$ 。

4) 以所有准确匹配的内点到对应极线距离和为目标函数,如式(1)所示,优化相对运动参数  $R, t$ , 有

$$f(R, t) = \sum_{i=1}^N (x_i^T [t]_x R x'_i)^2 \left[ \frac{1}{i_1^2 + i_1} + \frac{1}{i_2^2 + i_2} \right] \quad (1)$$

式中,  $i_1$  和  $i_2$  分别为第一张图和第二张图上所对应的极线方程的变量系数。

5) 由相对运动  $R, t$ , 直接计算投影矩阵

$$Q_1 = K_1(l \ 0) \quad Q_2 = K_2(R \ t)$$

在此基础上对已匹配的目标点利用投影矩阵表示的成像关系式(2)三角交会重建目标点  $X$ 。

$$\mu x_1 = Q_1 X \quad \mu x_2 = Q_2 X \quad (2)$$

### 1.2 基于多视图的三维重建算法

基于多图像参加的三维重建方法,以不同位置对空间同一目标成像为处理对象,根据成像间的约束关系,解算相机的运动和空间场景的三维结构。华南虎 6#~40# 照片分别是在不同位置对老虎及其附近场景的拍摄成像,组成了华南虎及其附近场景的序列成像。由于老虎距离成像位置较远,可以采用仿射矩阵分解和多视图约束正则化方法从序列图像中对老虎及其附近空间场景进行三维结构重建。

#### 1.2.1 基于仿射矩阵分解的多图像三维解算基本原理

多个摄像机(或者同一摄像机在多个位置)成像情况下,在仿射近似下成像满足以下测量矩阵关系<sup>[10]</sup>

$$\begin{bmatrix} u_{11} & \dots & u_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{f1} & \dots & u_{fp} \\ v_{11} & \dots & v_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{f1} & \dots & v_{fp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \\ \vdots \\ m_f \\ n_1 \\ \vdots \\ m_f \end{bmatrix} [X_1 \ X_2 \ \dots \ X_p] + \begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ \vdots \\ y_1 \end{bmatrix} [1 \ 1 \ \dots \ 1] \quad (3)$$

简写为

$$W = MX - T[1 \ 1 \ \dots \ 1]$$

式(3)中,  $X$  为目标点在世界坐标系下的坐标,  $(u_i, v_i)$  表示目标点图像坐标, 公式表示将全序列中  $p$  个特征点在  $f$  幅图像上的图像点坐标组成的矩阵方程。其中  $2f \times p$  阶矩阵  $W$  称为图像测量矩阵(包含图像点测量信息),  $2f \times 3$  阶矩阵  $M$  称为运动矩阵(包含摄像机运动信息),  $3 \times p$  阶矩阵  $X$  称为结构矩阵(包含目标点结构信息),  $T$  是  $2f \times 1$  阶平移向量。将坐标变换到目标形心为原点的坐标系,则可以消去平移变量  $T$  得到测量矩阵  $W$ 。将测量矩阵  $W$  使用 SVD 分解可以得到仿射变换下的目标结构  $\hat{X}$  和像机运动  $\hat{M}$ 。通过文献[11]提供的约束求解仿射变换矩阵  $H_A$ , 利用式(4)可以得到目标的三维重建  $X$ 。

$$M = \hat{M}H_A \quad X = H_A^{-1}\hat{X} \quad (4)$$

在该三维重建方法的最后一步,利用透视成像关系对空间点和像机参数作为待改进量进行迭代优化,确定结构重建的最优解。

#### 1.2.2 基于仿射矩阵分解的多图像三维重建流程

利用人工方法对序列图像特征点进行匹配,组成测量矩阵,通过分解和迭代优化实现序列图像的目标三维重建,具体算法流程如图 2 所示。

需要说明的是,在没有像机定位信息或空间目标尺度信息情况下,目标三维重建结果在一个比例系数下保持三维结构、形状,但并不表示实际尺寸。在具有像机定位信息或控制点信息时可以获得重建目标的绝对三维定位和尺度信息。

## 2 “华南虎”照片的序列图像三维重建、测量及分析

### 2.1 三维测量分析条件

处理对象为网络下载的 40 幅华南虎数码照片<sup>[4]</sup>,这些原

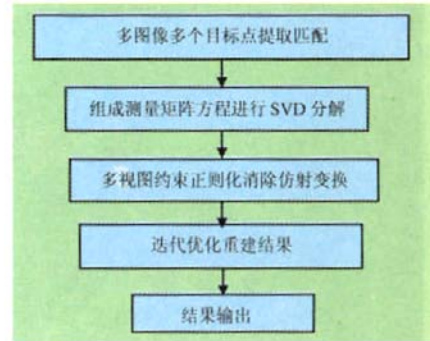


图 2 多图像三维重建的实现流程

Fig. 2 Process of three-dimensional reconstruction from multiple views

始的图像文件自身带有拍摄焦距等参数,多视图重建选择成像质量较好的 26#, 27#, 29#, 40# 照片图像进行处理。

通过查看照片属性,可以确定相机参数如下:

- 1) 26#, 27#, 29#, 40# 照片的成像焦距分别为 46 mm, 41 mm, 41 mm 和 34 mm;
- 2) 成像 CCD 传感器尺寸为 22.2 mm×14.8 mm;
- 3) 图像分辨率(pixel)为 3 888×2 592。

根据以上条件可以确定等效焦距;同时,根据相机的制造水平,在处理过程中假设主点在图像中心,像素为正方形。

三维重建结果用 26# 照片成像时的相机坐标系来表示,坐标系如图 3 所示,其中  $x, y$  轴为图像横向和纵向,  $z$  轴为光轴指向方向。

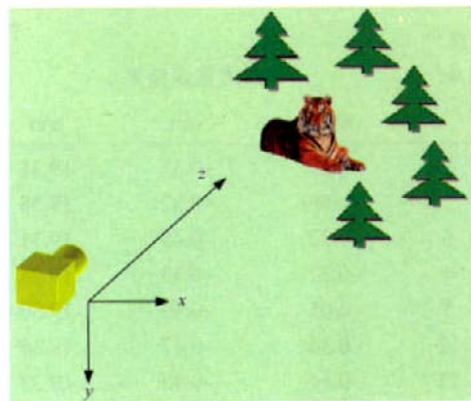


图 3 坐标系示意图

Fig. 3 Sketch map of the coordinate system

由于各照片的拍摄点位置事先无法得到,重建的三维结构与实际的三维结构将在尺度上相差一个比例系数。考虑到真实成年华南虎的身长、头部大小等信息,为了使结果具有可比性并且达到与实际尺度相近的水平,本文假设虎头两眼角点即图 4、图 5 中特征点 1 与特征点 2 在三维空间的实际距离为 0.3 m, 以此确定重建三维结果尺度变换。

本文分析中分别使用了两视图、三视图和多视图方法,由于实际处理过程中不同的重建方法所选择的特征点有所不同,重建结果会出现系统误差。为方便,这里将 3 种方法的





图4 双图重建的虎体20个特征点(29<sup>#</sup>)  
Fig. 4 The 20 features on the tiger to be reconstructed from two-view (29<sup>#</sup>)

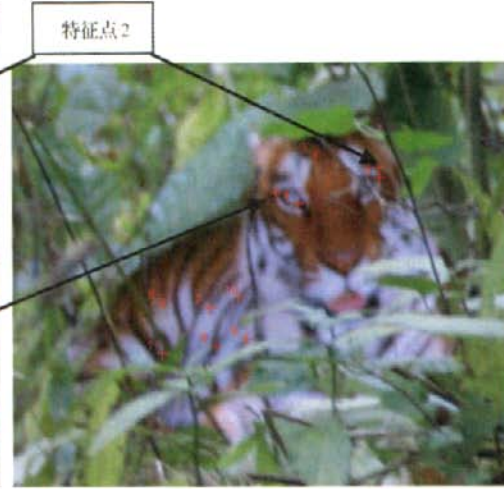


图5 多图重建的11个虎体特征点(27<sup>#</sup>)  
Fig. 5 The 11 features on the tiger to be reconstructed from multi-view(27<sup>#</sup>)

三维重建结果数据进行了平移,使3种方法的结果中特征点1的坐标都重合在26<sup>#</sup>照片的相机坐标系下的特征点1的空间位置(双视图重建结果给出)。

在上述条件下,用两视图、三视图和四视图解算的虎体上多个特征点的空间三维坐标结果如表1所示。

### 2.2 基于两视图的解算

选择视差较大、成像清晰、同名特征点易于识别且匹配的图像对进行解算。实验中,对26<sup>#</sup>与29<sup>#</sup>图像对、27<sup>#</sup>与29<sup>#</sup>图像对、26<sup>#</sup>与40<sup>#</sup>图像对进行了分析,其结果相近,这里给出26<sup>#</sup>与29<sup>#</sup>的分析过程及结果。

表1 虎体特征点三维重建结果

Table 1 3D reconstruction result of the feature points on the tiger

特征点 (见图4、 图5)	26 <sup>#</sup> 相机坐标系下虎体特征点三维重建结果									
	两图重建结果			三图重建结果			四图重建结果			
	x/m	y/m	z/m	x/m	y/m	z/m	x/m	y/m	z/m	
虎 面 部 特 征 点	1	-0.33	-0.35	19.31	-0.33	-0.35	19.31	-0.34	-0.35	19.31
	2	-0.049	-0.42	19.38	-0.055	-0.46	19.33	-0.054	-0.46	19.35
	3	-0.22	-0.45	19.31	-0.21	-0.47	19.31	-0.21	-0.47	19.32
	4	-0.27	-0.33	19.28	-0.28	-0.33	19.30	-0.27	-0.33	19.32
	5	-0.05	-0.39	19.30	-0.061	-0.43	19.32	-0.06	-0.43	19.33
	12	-0.34	-0.47	19.35						
	13	-0.14	-0.48	19.33						
	14	-0.15	-0.42	19.32						
虎 躯 干 特 征 点	15	-0.12	-0.35	19.35						
	6	-0.42	0.029	19.39	-0.48	0.075	19.34	-0.47	0.059	19.35
	7	-0.52	-0.043	19.38	-0.56	0.0098	19.34	-0.56	-0.0036	19.35
	8	-0.65	-0.072	19.34	-0.68	0.0024	19.33	-0.67	-0.012	19.34
	9	-0.52	0.057	19.43	-0.57	0.12	19.36	-0.56	0.096	19.37
	10	-0.44	-0.076	19.35	-0.47	-0.036	19.32	-0.47	-0.048	19.34
	11	-0.66	0.072	19.35	-0.71	0.16	19.33	-0.70	0.14	19.34
	16	-0.47	-0.20	19.35						
17	-0.76	-0.014	19.39							
18	-0.67	-0.14	19.34							
19	-0.57	-0.018	19.39							
20	-0.54	0.097	19.40							

由于虎照中老虎的分辨率较低,深度和拍摄角度变化较小,因而容易造成解算不稳定的问题,本文提出了全局解算、局部重建的方法。通过提取老虎附近较大范围空间且有较大深度变化的特征点(如树杈、枝节等)来解算多视图几何关系,在此基础上对图像中处于局部小范围的老虎进行重建。这种重建策略保证了在虎照的弱交会条件下得到满足精度要求的三维重建。

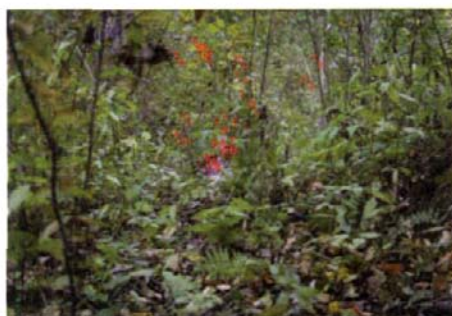
处理分两步进行,第一步对图像中虎体和空间场景的特征点进行匹配并解算两视图之间的相对几何关系;第二步利用相对几何关系解算结果对虎体兴趣目标点进行交会重建。

图像提取匹配采用亚像素定位技术<sup>[12]</sup>,半自动完成,为了避免解算条件的退化,需要在清晰成像的前提下在分布较大并具有足够深度变化的范围选择同名特征点。图6为两图的特征匹配结果,这里选择了26个同名匹配点。



(a) 26° 照片特征点

(a) Feature points of the photo 26°



(b) 29° 照片特征点

(b) Feature points of the photo 29°

图6 26°与29°照片特征匹配结果

Fig. 6 Features matching result between photo

26° and 29°

以这些同名特征点作为输入,引入两次成像的焦距等参数,用本文的两视图重建对特征点进行三维重建。在重建的两视图几何关系上,对于感兴趣的虎体目标,在26°和29°照片的虎面部和躯干部位共提取匹配了20个特征点(见图4)进行三维重建。经过尺度和平移变换,虎体20个特征点的重建结果在表1中给出。

### 2.3 基于三视图和四视图的解算

三视图和四视图分别采用26°, 27°, 29°和26°, 27°, 29°, 40°

两组进行。

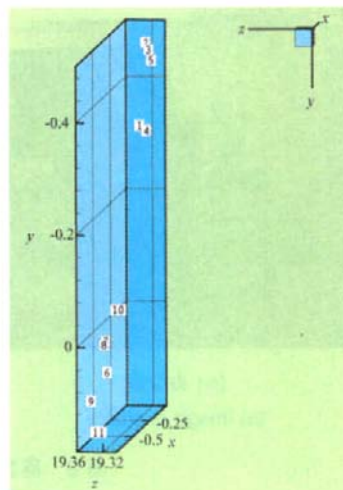
图像的提取、匹配条件同两视图的方法。由于多图情况下同名点同时清晰成像的机会减少,本文选择了19个同名匹配点进行解算,其中11个特征点位于虎体,如图5中的点1~11,其他为场景特征点。

将19个特征点作为输入,组成测量矩阵,经过分解和优化两个步骤完成重建。三视图和四视图的11个虎体特征点的重建结果经尺度和平移变换后由表1给出。

### 2.4 序列图像三维重建结果分析

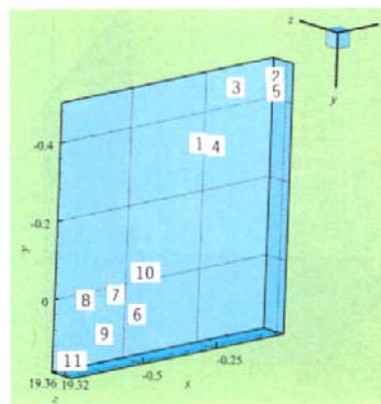
图7为用两视图、三视图和四视图方法解算的虎体上多个特征点的空间三维坐标结果。

多视图重建结果表明,在假设虎面部目标点1,2之间的实际距离为0.3m的情况下,从虎照重建的华南虎三维结构是,眼部的特征点1距离26°照片成像时的相机位置约为19.30m,包含虎面部和躯干的所有特征点在成像深度方向距离相机的位置在19.30~19.40m之间分布,深度变化较小。这些特征点在三维空间的x, y, z 3个方向的尺度变化范围为



(a) 视角1下的三维结构示意图

(a) View of the 3D structure under a viewpoint



(b) 视角2下的三维结构图

(b) View of the 3D structure under another viewpoint

图7 虎躯干特征点1~11的空间三维结构示意图

Fig. 7 The 3D structure of the 11 feature points on the tiger



0.70 m×0.74 m×0.10 m。图 7 给出了虎体上 11 个特征点 (图 5) 在三维空间的分布示意图。

将两视图重建的 20 个特征点 (图 4) 用最小二乘法拟合一个平面, 测量点与拟合平面距离的标准方差为 0.02 m, 最大差为 0.06 m, 拟合平面法线与相机光轴夹角为 10.4°, 即该平面近似平行于像平面。另一方面, 对重建结果的虎面部点与躯干点分别拟合两个空间平面, 两平面的夹角约 10°。

在此组照片虎姿状态下, 如果照片对应于三维实体虎, 根据常识可知: 虎头部与臀部特征点在纵深 z 坐标方向的变化应在 1 m 以上, 虎面部点与躯干点分别拟合的两个空间平面的夹角应大于 50°。而我们实际重建的三维结构在纵深方向变化仅 0.1 m, 对应的两个平面夹角约 10°; 而且所有特征点的拟合平面近似平行于像平面。因此可以确定这些特征点在空间分布于一个平面上, 不符合实体华南虎的三维立体结构特点。

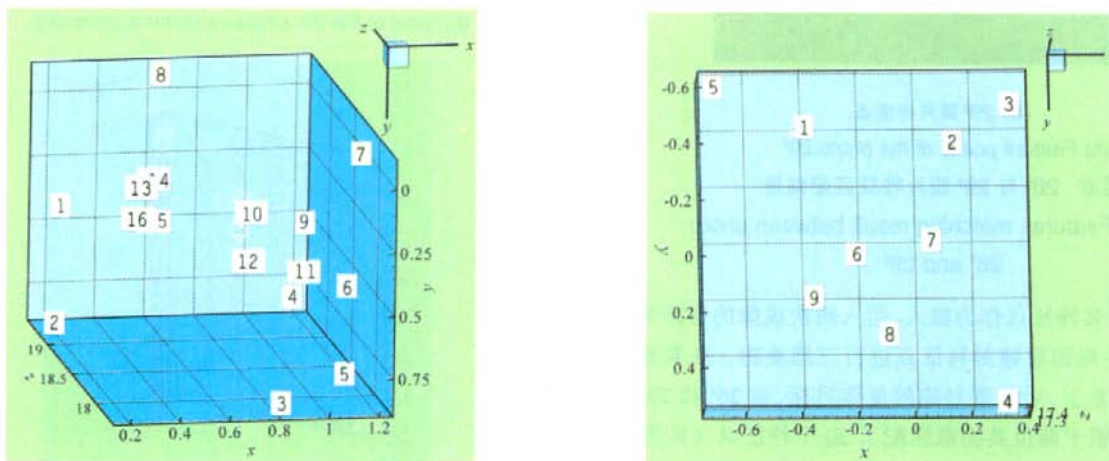
## 2.5 模拟实验分析

为了验证本文算法的准确性, 模拟虎照的成像条件进行了成像与重建实验。实验中, 模拟条件是成像距离和角度变化以及成像空间分辨率, 与华南虎照片基本相同。综合华南虎照的重建结果和网络上提供的成像距离做参考, 选择的成像距离约 20 m, 拍照的位置在 1.5 m 之内多次变换, 成像目标分别为具有空间立体结构的办公椅和空间的平面板。用本文两视图的方法分别对办公椅和平面板进行三维重建, 比较重建结果。图 8 为需要重建的办公椅和平面模板及其特征目标点。图中办公椅上的特征点为立体空间散布, 不在同一空间平面, 而图中平面板是空间的平面。重建结果表明, 办公椅上目标点的深度变化范围为 1.50 m, 而平板上特征点深度变化范围为 0.14 m, 各点数值与实际分布较一致, 其三维空间结构如图 9 所示。该实验证实, 本文算法正确地重建了空间三维结构, 能够满足利用虎照对老虎三维重建的要求。



图 8 需重建的办公椅和平面板及其特征点

Fig. 8 Images of two chairs and a plane board to be reconstructed with features on them



(a) 办公椅特征点三维重建结果  
(a) 3D reconstruction of the features on the office chairs

(b) 平面板特征点三维重建结果  
(b) 3D reconstruction of the features on the plane board

图 9 实验三维重建结果

Fig. 9 3D reconstruction result of the chairs and plane board

将上述测量结果用最小二乘法拟合一个平面, 测量点与拟合平面距离的标准方差为 0.021 m, 最大差为 0.067 m, 平板交会结果在深度 z 方向精度较差, 有约 6 cm 的误差。这与华南虎照重建结果的深度方向误差在同一水平, 证明了华南虎照重建结果的精度分析与结论。

由于可用于测量的虎照之间的拍摄位置和角度变化不大, 定位交会条件差, 图像中老虎部分的空间分辨率较低以及模糊的存在, 都对重建结果引入了误差。本文提出的全局解算、局部重建的方法较好地解决了此问题, 上述试验结果证明本方法可以得到比测量对象尺度高一个量级的测量精度, 满足判断华南虎是否为平面的测量要求。

### 3 基于平面目标成像原理的虎照分析

摄像测量成像理论表明, 当对平面目标进行成像时, 像与平面目标之间以及平面的不同成像之间满足仿射变换关系。因此, 通过仿射变换校正可以使平面目标与其图像重合。而三维立体目标的不同方位的成像之间不满足仿射变换模型, 通过仿射变换图像是不能重合的。基于此理论, 对年画虎

和华南虎照进行了分析。

#### 3.1 仿射校正

假设华南虎照是拍自年画虎, 或者年画虎拍自华南虎, 则根据以上理论可知: 华南虎照和年画虎之间存在仿射变换关系。设  $(u, v)$  表示年画虎图像上的 p 点坐标,  $(u, v)$  表示华南虎照上对应的同名点 p, 则这两个对应点之间满足如下线性仿射变换模型:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_0 & r_1 \\ r_2 & r_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_4 \\ r_5 \end{bmatrix} \quad (5)$$

通过高精度地提取两幅图像上的同名点坐标, 其中同名点均匀分布于两幅图像的公共部分, 通过最小二乘求解参数  $r_0 \sim r_5$ , 即获取年画虎照到华南虎照的仿射变换关系。对年画虎中各点  $(u, v)$  仿射变换到  $(u, v)$ , 即完成年画虎照和华南虎照之间的配准, 消除了拍摄角度、距离不同造成的区别。对 6# 照片与年画虎的仿射校正结果如图 10 所示, 图 10(a) 是华南虎照原图, 图 10(b) 是经过仿射校正的年画虎照, 可见, 经过仿射校正后, 消除了由于拍摄角度、距离不同而造成的旋转、缩放和剪切变形。



(a) 6# 照片老虎局部图

(a) Tiger part of the tiger photo 6# after adding contour



(b) 年画虎校正后效果图

(b) Tiger part of the poster after affine transform

图 10 年画虎仿射校正后与 6# 照片比较

Fig. 10 Comparison between the rectified poster and tiger photo 6#

#### 3.2 基于轮廓和骨架的相似性比较

仿射变换是基于图像坐标的变换, 没有考虑色彩变化, 因此两幅图像之间的色彩分量存在明显差异, 而且两幅图像之间由于拍摄条件的不同, 华南虎照明显比年画虎照模糊。为了更好地说明问题, 本文采取基于轮廓和骨架线的公因子法比较相似性。

##### 3.2.1 轮廓线比较

首先对仿射校正后的年画虎照进行灰度化和低通滤波, 低通滤波后, 利用 canny 边缘检测法提取主要边缘, 继而对提取到的边缘进行灰度形态学处理, 丢掉一些孤立的噪声边缘点, 连接间断的边缘线, 得到较好的年画虎照纹理轮廓图, 将提取到的年画虎轮廓图分别叠加到其自身和华南虎照。结果

如图 11 所示。

图 11(a) 是叠加了年画虎照纹理轮廓的华南虎照, 图 11(b) 是叠加了自身轮廓的年画虎照。从图中可知, 两虎不论是花纹还是身体轮廓都大部分重合, 相似性极高。

##### 3.2.2 骨架线比较

首先, 对仿射校正后的年画虎照进行灰度化, 然后负片显示, 突出其主要纹理轮廓, 即花纹和身体轮廓, 手动选择阈值进行二值化分割图像, 对得到的二值图采用灰度形态学处理得到其骨架图, 并对骨架线进行修复, 得到年画虎的骨架图。采取类似轮廓线比较的方法得到如图 12 结果。

图 12(a) 是叠加了年画虎照骨架线的华南虎照, 图 12(b) 是叠加了自身骨架线的年画虎照, 从骨架线的位置和结





(a) 叠加轮廓的 6° 照片老虎局部图

(a) Tiger part of the tiger photo 6° after adding contour



(b) 叠加轮廓的年画虎校正后效果图

(b) Tiger part of the poster after affine transform and adding contour

图 11 年画虎校正后与 6° 照片的轮廓图比较

Fig. 11 Contour comparison between the rectified poster and tiger photo 6°



(a) 6° 照片老虎局部图

(a) Tiger part of the tiger photo 6° after adding framework



(b) 年画虎校正后效果图

(b) Tiger part of the poster after affine transform and adding framework

图 12 年画虎校正后与 6° 照片的骨架图比较

Fig. 12 Framework comparison between the rectified poster and tiger photo 6°

构不难看出, 两虎的重合度很高。

以上实验结果表明, 两幅虎照经过仿射配准后相似性极高, 二者满足平面目标成像模型。

### 3.3 相似率计算

采用基于特征点几何关系的相似性度量方法对仿射变换后的年画虎照和 6° 虎照进行了相似率计算。在两图的虎像上均匀选取 30 个对应点, 分别对这 30 个点任意两点组合求距离, 任意三点组合求夹角, 由这些距离和夹角组合形成描述各自照片上虎像的向量。采用这两个向量之间的标准相关系数作为相似率, 年画虎与 6° 虎照的相似率计算结果为 0.998 6。

### 3.4 眼部细节的相似性多图像比较

40 幅虎照的图像序列之间以及它们与年画虎之间在视

觉上存在一些不同, 尤其虎眼部分变化明显, 本文从成像细节上进行了相关分析。

将 40 幅数码照片中 6°, 29°, 30° 以及年画中的老虎两眼区域仿射变换到相同的大小和角度。对视觉上差异明显的右眼局部进行对比, 提取虎眼下眼皮 (即眼睛下部的白色区域) 的骨架线, 如图 13 所示。

计算虎下眼皮的骨架线曲率, 图 13 中 4 个骨架线的曲率从左至右分别为 0.149 2, 0.218 7, 0.185 8, 0.152 2。数据表明, 年画虎右下眼皮骨架线曲率与 6° 照片中的曲率非常接近, 而与 29° 和 30° 图中的曲率相差较大, 尤其与 29° 图中的骨架线曲率相差更大, 而且 29° 照片中老虎有较清晰的成像。从这一点来看, 照片中的老虎眼睛与年画中的老虎眼睛存在一定的差别, 这是“挺虎派”的重要支持证据。



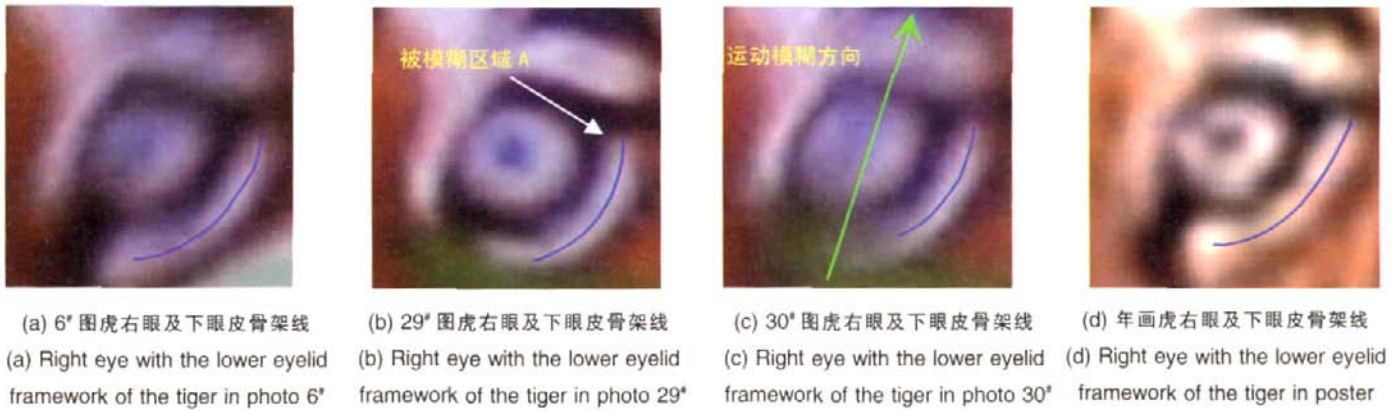


图 13 眼部校正局部及其骨架图

Fig. 13 Part of eyes after rectified and adding framework of the lower eyelids

相对于 29° 图, 30° 图在眼球长轴方向存在明显的运动模糊(如图箭头方向), 使 29° 图中的圆形眼球模糊成椭圆形, 会对曲率计算产生较大影响。例如图 13(b) 中 A 所示的白角点会被图 13(c) 中的运动模糊掉, 使白色下眼帘曲率发生变化, 误导视觉效果。但较清晰的 29° 图的下眼帘骨架线曲率与年画虎的曲率有较明显的不同, 由于网上的年画虎和华南虎照都存在一定运动模糊与离焦模糊, 这种曲率不同的原因尚难以确定。

#### 4 结论

本文用摄像测量方法对现有来自互联网上的华南虎照进行了研究, 给出了客观的数据分析结果。基于多视图三维重建的方法, 从华南虎照片完成了其中老虎的三维结构重建, 重建结果表明, 老虎面部、躯干、四肢等部位的各点位于一个与像面基本平行的平面上, 测量点与拟合平面距离的标准方差为 0.02 m, 最大差为 0.06 m; 根据平面目标成像的原理, 通过仿射变换对华南虎照片与年画虎的相似性进行了分析, 结果表明, 照片虎与年画虎的主纹理骨架、轮廓基本重合, 相似率为 0.998 6, 满足平面变换条件; 对照片中虎眼的变化用骨架线曲率进行了分析, 指出了存在的差异并分析了可能的原因。

用科技手段解决社会关注的热点问题是科技工作者的职责, 希望该研究工作可为有关方面最终确定“华南虎事件”真相提供一个科学的参考。

#### 参考文献 (References)

[1] 苏显龙. “华南虎事件”让谁蒙羞[N]. 人民日报, 2007- 11- 21(5).

[2] 卢新宁. “虎照”, 又一个“无言的结局”[N]. 人民日报, 2007- 11- 30(5).

[3] Constance Holden ed. Rare-tiger photo flap makes fur fly in China[J]. Science, 2007, 318(5852): 893.

[4] Fauxtiger, <http://picasaweb.google.com/fauxtiger/gNwiNI>.

[5] 洪湾. 六方面鉴定: “华南虎照片”影像不真实[OL]. <http://china.rednet.cn/c/2007/12/02/1386966.htm>.

[6] 许晓. 解读中摄协鉴定报告披露华南虎真伪讨论会细节 [OL]. <http://china.rednet.cn/c/2007/12/03/1387525.htm>.

[7] Hartly R, Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision[M]. Cambridge University Press, 2000.

[8] Hartley R. In defence of the 8-point algorithm [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(6): 580- 593.

[9] 李立春, 邱志强, 王鲲鹏, 等. 基于匹配测度加权求解基础矩阵的三维重建算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(10): 2530- 2533.

Li Lichun, Qiu Zhiqiang, Wang Kunpeng, et al. 3D reconstruction based on fundamental matrix estimation weighted by match measure [J]. Computer Applications, 2007, 27(10): 2530- 2533.

[10] 邱志强. 基于仿射近似从航空图像重建目标三维结构[D]. 长沙: 国防科技大学, 2004.

Qiu Zhiqiang. Three-dimensional structure reconstruction from aerial images based on affine approximation[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2004.

[11] Poelman C J, Kanade T. A paraperspective factorization method for shape and motion recovery [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(3): 206- 218.

[12] 于起峰, 陆宏伟, 刘肖琳. 基于图像的精密测量与运动测量[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

Yu Qifeng, Lu Hongwei, Liu Xiaolin. Precise measurement and motion metric based on image[M]. Beijing: Science Press, 2002.

(责任编辑 朱宇)

#### ·学术不端行为举报·



举报信箱

E-mail: hjy@cast.org.cn

铁道第四勘察设计院史义雄发表在《城市公用事业》2006年第3期第16~18页的论文“GIS环境下城市供水管网事故关阀分析的研究与实现”, 与该作者发表在《城市管理与科技》2005年第5期第204~206页的论文“GIS环境下供水管网事故关阀分析的研究与实现”一文的内容基本相同。

本刊编辑部