

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 12
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年12月 第17卷 第12期(总第200期)

目次

综述

高斯混合模型、求解算法及视觉应用综述..... 管涛,李玲玲(1461)

图像处理和编码

基于曲波变换和色度模型的彩色图像去噪 张云强,张培林,王国德,卓洪波(1472)

子矢量排序的渐进不相似度逼近算法 李阳,潘志斌,吴鑫鹏(1478)

稀疏梯度先验模型的正则化图像复原 刘伟豪,梅林,蔡烜(1485)

高精度亚像素全局运动估计的上采样梯度互相关算法 余应淮,王锦荣(1492)

图像分析和识别

点到弦距离累加的自适应角点检测 王万良,金亦挺,赵燕伟,胡峰俊(1500)

最大子分类间隔准则的核函数优化 张静,杨智勇,于红芸,孙晓燕(1509)

核典型相关性鉴别分析 陈伟琦,程强(1516)

小波变换和特征加权融合的人脸识别 赵焕利,王玉德,张学志,薛乃玉(1522)

具有身份标识的多目标跟踪 安国成,肖坦(1528)

图像理解和计算机视觉

用于圆锥体位姿测量的曲面标记..... 李蒙,谌德荣,周广铭,蒋玉萍,高翔霄(1534)

计算机图形学

基于特征识别的3维人脸动画模型自动构造…………… 徐明, 乔宁博, 文振焜, 曾新, 采振祥(1540)

3D GIS 环境下雨雪天气实时仿真…………… 李欢, 樊红, 冯浩(1548)

医学图像处理

结合马尔可夫随机场与模糊 C-均值聚类的脑 MRI 图像分割…………… 余黎煌, 钟华, 张石(1554)

遥感图像处理

面向遥感影像镶嵌的 SVR 色彩一致性处理…………… 吴炜, 骆剑承, 李均力, 杨海平, 沈占锋(1561)

遥感影像投影寻踪回归分类模型…………… 张正健, 李祚泳, 秦宁生, 刘志红, 巴桑(1568)

《中国图象图形学报》2012 年第 17 卷总目次…………… (1)

志谢…………… 封2

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 12 期

2012 年 12 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa.ac.cn
电话:010-64807995 010-82614429
网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTXFZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 12 December 2012

Contents

Review

Overview of Gaussian mixture models, solving algorithms and visual applications Guan Tao, Li Lingling(1461)

Image Processing and Coding

Denoising method for color images based on chrominance model and curvelet transform
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Wang Guode, Zhuo Hongbo(1472)

Improved incremental dissimilarity approximations algorithm using sub-vector sorting Li Yang, Pan Zhibin, Wu Xinpeng(1478)

Regularized image restoration algorithm on sparse gradient prior model Liu Weihao, Mei Lin, Cai Xuan(1485)

High accuracy sub-pixel global motion estimation based on upsampled gradient cross-correlation algorithm
..... Yu Yinghuai, Wang Jinrong(1492)

Image Analysis and Recognition

Adaptive corner detection based on chord-to-point distance accumulation
..... Wang Wanliang, Jin Yiting, Zhao Yanwei, Hu Fengjun(1500)

Kernel optimization approach based on maximum subclass margin criterion
..... Zhang Jing, Yang Zhiyong, Yu Hongyun, Sun Xiaoyan(1509)

Kernel discriminant analysis based on canonical correlation Chen Weiqi, Cheng Qiang(1516)

Face recognition based on wavelet transform and weighted fusion of face features
..... Zhao Huanli, Wang Yude, Zhang Xuezhi, Xue Naiyu(1522)

Multi-target tracking algorithms with identification label An Guocheng, Xiao Tan(1528)

Image Understanding and Computer Vision

Curved surface marker used for cone pose measurement
..... Li Meng, Chen Derong, Zhou Guangming, Jiang Yuping, Gao Xiangxiao(1534)

Computer Graphics

The approach to automatically construct animation models based on 3D facial geometry and texture features recognition
..... Xu Ming, Qiao Ningbo, Wen Zhenkun, Zeng Xin, Cai Zhenxiang(1540)

Real-time snow and rain rendering in 3D GIS environment Li Huan, Fan Hong, Feng Hao(1548)

Medical Image Processing

Fuzzy C-means clustering algorithm combined with markov random field for brain MR image segmentation
..... She Lihuang, Zhong Hua, Zhang Shi(1554)

Remote Sensing Image Processing

Support vector regression color normalization method for image mosaic
..... Wu Wei, Luo Jiancheng, Li Junli, Yang Haiping, Shen Zhanfeng(1561)

Remote sensing image classification model based on projection pursuit regression Zhang Zhengjian, Li Zuoyong, Qin Ningsheng, Liu Zhihong, Ba Sang(1568)

中图分类号: TP751.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)12-1534-06

论文引用格式: 李蒙, 谌德荣, 周广铭, 蒋玉萍, 高翔霄. 用于圆锥体位姿测量的曲面标记[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(12): 1534-1539.

用于圆锥体位姿测量的曲面标记

李蒙¹, 谌德荣¹, 周广铭², 蒋玉萍², 高翔霄²

1. 北京理工大学机电工程与控制国家级重点实验室, 北京 100081;
2. 北京宇航系统工程研究所, 北京 100076

摘要: 设计了一种用于圆锥体位姿测量的曲面标记。确定了用于圆锥体位姿测量的曲面标记设计原则;提出了将圆锥体展开成扇形并将扇形等分成6个子扇区的设计方案;以子扇区为标记设计单元,利用梯形实现点面特征的联合设计及标记的赋形设计,且保证每个子扇区具有5~8个角点;结合圆锥体几何及运动特征为每个子扇区设计了唯一识别编码。仿真结果表明:圆锥体在不同位姿下(圆锥体顶点在视场内),从设计的标记上能提取不少于6个角点特征且角点不完全共线,满足圆锥体位姿测量要求。

关键词: 圆锥体;位姿测量;标记;角点

Curved surface marker used for cone pose measurement

Li Meng¹, Chen Derong¹, Zhou Guangming², Jiang Yuping², Gao Xiangxiao²

1. National Laboratory for Mechatronic and Control, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;
2. Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China

Abstract: A curved surface marker, which can be used for cone pose measurements, is designed. The design principles of the curved surface marker are proposed. The cone is flattened into a circular sector and then the sector is divided into six equal sub-sectors, which are used as basic design units. Trapezoids are applied to fulfill the joint design of point features and area features, and to finish the form-giving design of the marker, guaranteeing that there are 5~8 corners in each sub-sector. Combining the geometric features with the movement features of the cone, a unique code is provided for each sub-sector. The simulation results show that more than five non-fully collinear corners can be extracted and recognized under various poses (with the cone top appears in FOV of both cameras simultaneously). The designed marker can satisfy the requirements of cone pose measurement.

Key words: cone; pose measurement; marker; corner

0 引言

基于视觉的位姿测量技术测量精度高且不接触被测物体^[1],在工业生产、航天、机器人等领域有重要的应用价值^[2],获取目标图像特征是该技术的关键^[3]。本文利用视觉的方法测量圆锥体目标的飞行位姿,而圆锥体目标自身没有足够特征信息且不

能在其表面安装发光体标记^[4],需要在圆锥体表面上设计标记图案,为解算其位姿提供特征信息。

已有标记图案通常设计在平面上^[5-6]。如,为测量无人机的位姿,文献[7]设计了由多个黑白块构成的标记,该标记结构简单且特征易于提取;为测量机器人手臂的位姿,文献[8]设计了由多条直线构成的标记,该标记定位精度高且抗干扰性好;为了测量航天器的相对位姿,文献[9]设计了由多个圆构

收稿日期:2011-11-04;修回日期:2012-06-24

第一作者简介:李蒙(1986—),男,北京理工大学机电学院在读博士研究生,研究方向为图像测量、计算机视觉。E-mail: limeng.198616@163.com

成的标记,该标记容易识别但定位精度不高。特征定位精度依赖于标记的形状,如果把在平面上设计的标记直接移植到圆锥体曲面上则会产生几何变形,导致特征定位精度下降;另外,在平面上设计的标记没有充分利用圆锥体的几何特征;更重要的是,在同等条件下,圆锥体侧面成像的像素数量远小于等面积平面成像的像素数量,这导致图像中特征点分布集中,特征提取难度增大。

设计了一种用于圆锥体位姿测量的曲面标记。将圆锥体侧面展开成扇形平面并将其等分成 6 个子扇区,标记结合点特征和区域特征,实现特征定位和识别。结果表明,在标记上能提取与识别不少于 6 个角点,满足圆锥体位姿测量的要求。

1 测量系统设计

1.1 圆锥体双目位姿测量系统

用于圆锥体位姿测量的双目视觉系统如图 1 所示。

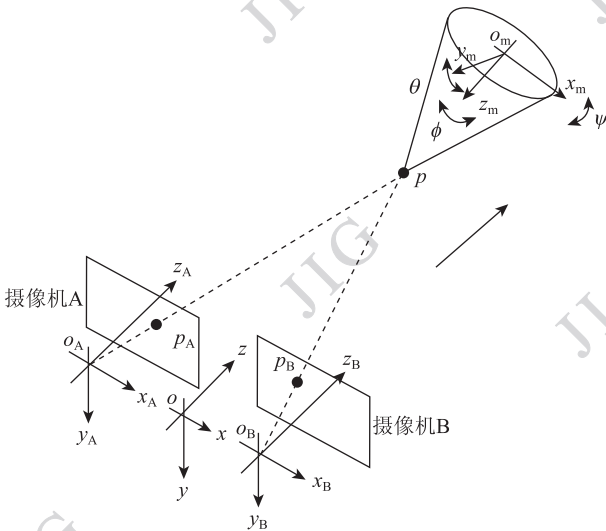


图 1 圆锥体双目位姿测量系统

Fig. 1 Cone binocular pose measurement system

图 1 中,摄像机 A、B 坐标系分别为 $o_A x_A y_A z_A$ 、 $o_B x_B y_B z_B$,摄像机光心为坐标系原点,摄像机横纵方向分别为 x 轴和 y 轴,摄像机光轴为 z 轴。设摄像机 A、B 坐标系原点间距离 $o_A o_B$ 等于 1 m,且 $o_A x_A // o_B x_B$, $o_A y_A // o_B y_B$, $o_A z_A // o_B z_B$,像平面在同一平面内。世界坐标系为 $oxyz$,原点 o 在 $o_A o_B$ 的中点,且 $ox // o_A x_A$, $oy // o_A y_A$, $oz // o_A z_A$ 。

摄像机 A、B 完全相同,均为黑白像机,视场角

为 15° ,图像尺寸为 640×480 ,测量范围为 $5 \sim 50$ m。

1.2 圆锥体运动特性

图 1 中,圆锥体坐标系为 $o_m x_m y_m z_m$,坐标系以圆锥体底面圆心 o_m 为原点,以底面圆两条相互垂直的半径为 x 轴和 y 轴,圆锥体轴线为 z 轴。当 o_m 在世界坐标系原点 o 处且 $o_m x_m // ox$, $o_m y_m // oy$, $o_m z_m // oz$ 时,圆锥体位置 (x, y, z) 为 $(0, 0, 0)$,姿态 (ψ, θ, ϕ) 为 $(0, 0, 0)$ 。

设圆锥体高为 1 m,底面圆直径为 0.5 m。该圆锥体表面光滑,颜色单一,除顶点外没有其他特征点,其成像见图 2。测量过程中,圆锥体姿态不断变化并以速度 v 远离摄像机,但它始终出现在两摄像机的公共视场中。

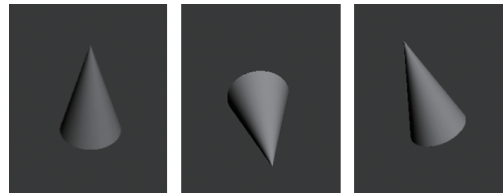


图 2 圆锥体不同姿态的成像

Fig. 2 Cone images under different poses

2 设计准则

根据位姿测量要求并结合圆锥体的几何特征,确立标记设计准则:

- 1) 圆锥体处于不同姿态时,摄像机在标记上拍摄到的不完全共线的特征点数量始终不少于 3 个^[10];
- 2) 为适应圆锥体几何形状,标记边缘应尽量沿圆锥体母线或截面圆;
- 3) 圆锥体是回转体且有旋转运动,摄像机拍摄到的侧面区域不能确定,为识别特征,圆锥体上不同位置的标记应能够区分开。

3 方案设计

3.1 圆锥体侧面展开

将圆锥体侧面沿母线展开,得到一个以圆锥体母线为半径的扇形,见图 3 (b),将圆锥体标记设计转化为扇形标记设计。标记设计完成后,再将扇形“卷起”,得到圆锥体曲面标记。

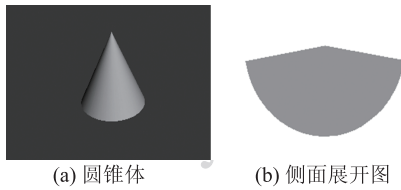


图 3 圆锥体及其侧面展开图
Fig. 3 Cone and flattened sector

3.2 子扇区分

为确保圆锥体处于不同的姿态时,有效特征点数量不少于 3 个,将扇形平面划分成子扇区,通过合理设计子扇区数量,确保在圆锥体运动过程中,总有一个完整的子扇区出现在两摄像机的公共视场中。

图 1 中,设圆锥体轴线 $o_m z_m$ 与经过摄像机 A 光心的直线 $o_m o_A$ 重合时,两线空间角 α_A 等于 0° ,此时出现在摄像机视场中的圆锥体侧面成像面积(简称侧面成像面积)最大,如图 4(a)所示;随着两线空间角 α_A 增大,侧面成像面积逐渐减小,如图 4(b)~(d)所示;当 α_A 等于 90° 时,侧面成像面积最小。同理:当 α_B 等于 90° 时,对于摄像机 B,圆锥体侧面成像面积最小。

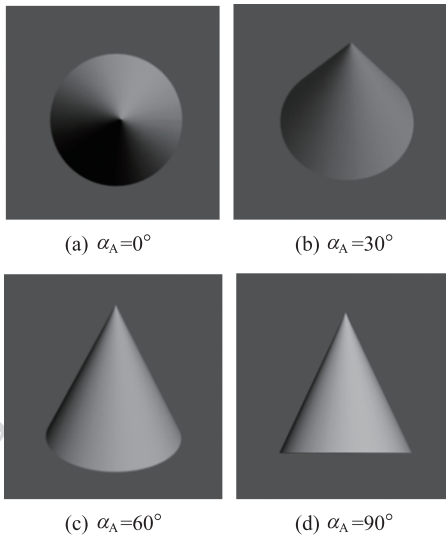


图 4 α_A 取不同值时圆锥体成像
Fig. 4 Cone images with different α_A

当 α_A, α_B 均等于 90° 时,对于摄像机 A、B,圆锥体侧面成像面积同时最小,两摄像机拍摄到的圆锥体公共侧面面积也最小,图 5 是该条件下圆锥体横截面的双目成像模型。图 5 中, M 是 $o_A o_B$ 上的点,过 o_A 作截面圆的切线 Ao_A ,过 o_B 作截面圆的切线

Bo_B, o'_m 是截面圆的圆心, \widehat{AB} 是两摄像机能同时拍摄到的公共圆弧。

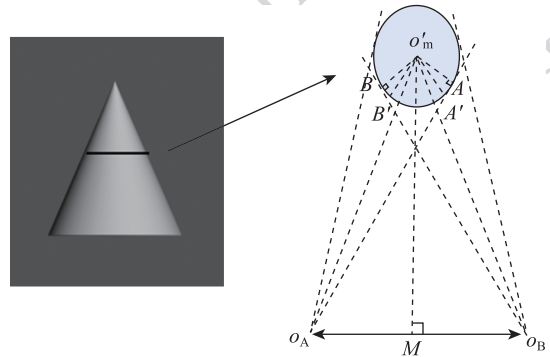


图 5 圆锥体截面双目成像模型
Fig. 5 Binocular imaging model of the cone section

\widehat{AB} 对应的圆心角为 $\angle Ao'_m B$ 。角 $\angle Ao'_m B$ 决定 \widehat{AB} 长度,即

$$\angle Ao'_m o_A = \arccos\left(\frac{R}{\sqrt{o_A M^2 + o'_m M^2}}\right) \quad (1)$$

$$\angle Mo'_m o_A = \arctan\left(\frac{o_A M}{o'_m M}\right) \quad (2)$$

$$\angle Ao'_m M = \angle Ao'_m o_A - \angle Mo'_m o_A \quad (3)$$

$$\angle Ao'_m B = \angle Ao'_m M + \angle Bo'_m M \quad (4)$$

式中, R 是截面圆的半径, $\angle Bo'_m M$ 的计算方法与 $\angle Ao'_m M$ 类似。由式(1)~(4)可知, $o'_m M$ 值越大, $\angle Ao'_m B$ 值越大;而 R 值越大, $\angle Ao'_m B$ 值越小。对于 1.1 节给出的双目位姿测量系统,当 $o'_m M$ 取最小值 5 m, R 取最大值 0.5 m 时, $\angle Ao'_m B$ 最小,经计算为 168° , $\angle Ao'_m B$ 对应 \widehat{AB} 的长度占截面圆周长的比例也最小,为 $168/360$;当 $R < 0.5$ m 时, \widehat{AB} 的长度占截面圆周的比大于 $168/360$ 。直线 Ao_A 在图像中投影成一个点,而 $\widehat{AA'}$ 逼近直线 Ao_A ,在图像中投影成少数几个点;同理, $\widehat{BB'}$ 在图像中也投影成少数几个点,因此,设计在这两段圆弧上的标记在图像中不能保持其原有结构。为此,去掉这两段圆弧,而仅截取 $\widehat{A'B'}$ 作为有效的公共圆弧,该圆弧长度取截面圆周长的 $1/3$ 。

对于圆锥体所有圆截面,有效的公共圆弧长度均取截面圆周长的 $1/3$,因此由有效的公共圆弧构成的公共侧面面积占圆锥体侧面总面积的 $1/3$;公共侧面同时在两摄像机中成像且成像形变较小,设计在这部分侧面上的标记能保持原有结构。由此,

为确保当圆锥体自由旋转时,在上述公共侧面中总有一个完整的子扇区,则至少要将扇形平面划分成 6 个子扇区。

图 6 中,将扇形等分成 6 个子扇区(图中黑线显示出子扇区划分)。将子扇区作为标记设计的基本单元,再在每个子扇区内设计 3 个以上的特征点,即可确保圆锥体运动时两摄像机的公共视场中始终有 3 个以上的特征点。

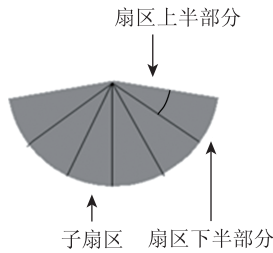


图 6 扇形划分
Fig. 6 Sector division

4 标记设计

4.1 标记初步设计

为使特征容易提取,标记颜色与背景颜色对比度越大越好,如,若圆锥体侧面灰色,将标记灰度值黑色。

特征决定标记结构,选取合适特征是设计标记的关键。点特征和线特征定位精度高但不容易识别;区域特征定位精度差却容易识别^[11]。为此设计了点特征与区域特征相结合的标记,标记利用点特征完成特征定位,利用区域特征实现特征识别。梯形的顶点是角点,属于点状特征,能实现精确定位;梯形属于区域特征,容易识别;梯形结构简单,容易进行赋形设计,为此利用梯形设计标记。

图 6 中,子扇区上半部分面积狭小,仅是下半部分的 1/3,为此将梯形设计在子扇区下半部分。初步设计的标记如图 7 所示:为适应子扇区的几何特征,对梯形进行赋形设计,梯形的腰沿子扇区侧边,梯形的上下底沿以扇形圆心为中心的圆弧(由于梯形结构改变,后称之为类梯形);类梯形应具有一定宽度(沿扇形半径方向),若过窄,则无法保持其原有的点面特征,若过宽,则在子扇区内没有足够面积,为此将类梯形宽度设计为扇形半径的 1/6;为获得更多角点,在部分子扇区内设计两个类梯形。

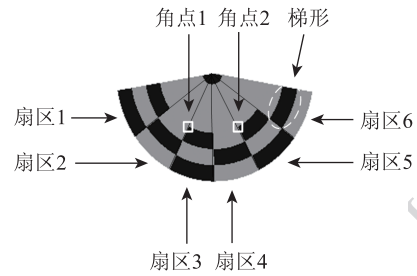


图 7 未编码标记

Fig. 7 Uncoded marker

4.2 子扇区编码

图 7 中,标记上的角点特征包含的信息不具有特异性,不能识别,如角点 1 和角点 2 在扇区中的位置及周边像素灰度值的分布均相同,无法区分。为识别角点,调整扇区内类梯形的分布,给每个子扇区构造唯一编码。

图 8 中,将子扇区下半部分等分成 3 层,每层由 1 个类梯形组成。黑色类梯形用“1”表示,灰色类梯形用“0”表示。给每个子扇区设计唯一的编码,见表 1。

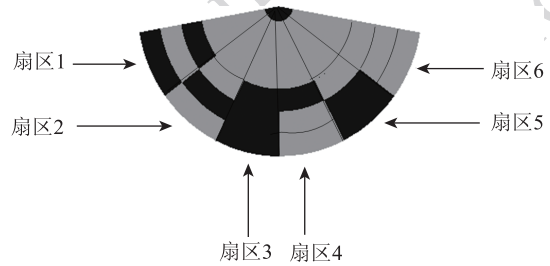


图 8 编码标记

Fig. 8 Coded marker

表 1 子扇区编码及角点数量

Table 1 Sub-sector code and corner quantity

	子扇区					
	1	2	3	4	5	6
编码	101	010	111	001	110	000
特征数	8	8	6	5	5	6

3 位二进制编码有 8 个值(2^3),从中选 6 个设计标记,不考虑排列顺序,共有 28 种(C_6^3)编码标记。利用编码识别角点的步骤如下:

- 1) 利用编码识别子扇区;
- 2) 利用在子扇区上的位置识别类梯形;
- 3) 利用在类梯形上的位置识别角点。

4.3 顶点标记

顶点是圆锥体自身唯一特征点,该点始终出现

在摄像机视场中。提取顶点坐标能够为位姿测量增加特征信息,为此将子扇区圆心附近,半径为扇形 $1/6$ 的小扇形的灰度值设计为 0,颜色为黑色,见图 8。

5 仿真实验

用 3D MAX 软件仿真图 1 中的双目位姿测量系统,验证标记能否满足位姿测量要求。3D MAX 软件基于中心透视投影模型成像,与实际摄像机成像原理相同。定义圆锥体坐标系 $o_m x_m y_m z_m$ 的 x, y 轴如图 9 所示。调整圆锥体在世界坐标系中的位置 (x, y, z) (单位是 cm)、姿态 (ψ, θ, ϕ) (单位是 $^\circ$),生成图像序列。

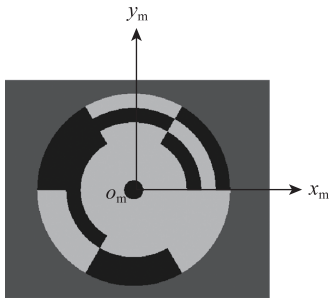


图 9 圆锥体坐标系

Fig. 9 Cone coordinates system

根据位姿测量要求,验证能否从标记上提取并识别足够数量的角点。验证步骤如下:

1) 取 $\alpha_A = \alpha_B = 90^\circ$ 及 $o'_m M = 5 \text{ m}$, 生成摄像机 A 和摄像机 B 的仿真图像图 10 (a)。验证圆锥体在两摄像机中公共成像面积最小的极限条件下,能否提取和识别足够数量的角点。

2) 减小 α 角,取 $\alpha_A = \alpha_B = 60^\circ$, $o'_m M = 5 \text{ m}$ 生成摄像机 A 和摄像机 B 的仿真图像图 10 (b)。观察圆锥体侧面成像面积的变化;

3) 增大 $o'_m M$ 的值,取 $\alpha_A = \alpha_B = 90^\circ$, $o'_m M = 10 \text{ m}$ 生成摄像机 A 和摄像机 B 的仿真图像图 10(c)。观察圆锥体侧面成像面积的变化。

3 组图像中,每组的公共角点数均为 13 个,且不完全共线,利用位置信息能够识别角点,满足位姿测量要求;对照图 10(a),图 10(b), α 变小摄像机拍摄到圆锥体侧面面积显著增大;图 10(c)中,距离 $o'_m M$ 变大摄像机拍摄到圆锥体侧面面积略微增大。

随意调整圆锥体的位置和姿态,验证能否提取

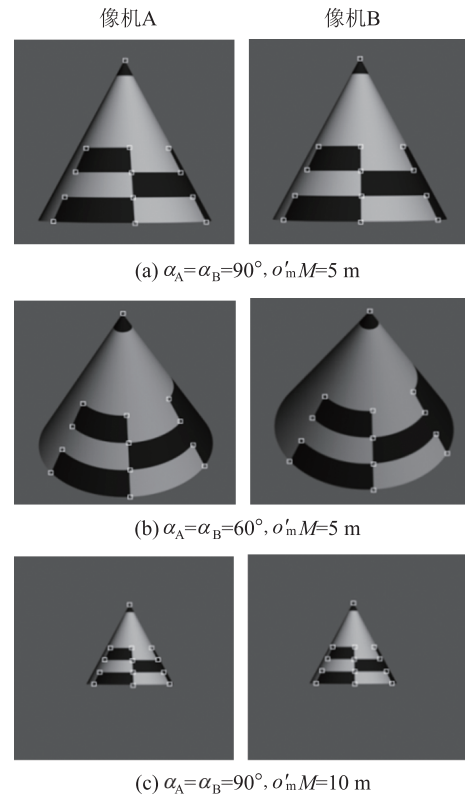
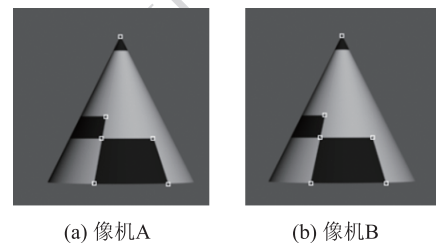


图 10 α 和 $o'_m M$ 取不同值时的仿真图像

Fig. 10 Images with different α or $o'_m M$

和识别足够数量的角点。结果表明,在测量范围内,当圆锥体处于不同姿态时,能提取和识别的公共角点数量最少为 6 个(包括顶点),如图 11 所示。

位置(0,-50,-500) 姿态(-90,7,0)



(a) 像机A

(b) 像机B

图 11 角点最少时仿真图像

Fig. 11 Images with least corners

6 结论

设计了一种用于圆锥体位姿测量的曲面标记;将圆锥体侧面展开成扇形平面,根据圆锥体截面双目视觉成像模型将扇形分成 6 个子扇区,利用梯形的点面特征给每个子扇区设计 5~8 个角点和唯一编码。仿真结果表明,在圆锥体处于不同的位置和姿态时,能从标记上提取并识别 6 个以上不完全共

线的角点,可以满足圆锥体位姿测量的要求。下一步工作是设计特征点自动提取和识别算法并提高特征点提取精度。

参考文献 (References)

- [1] Sun X K, Qin L. New system of non-contact pose measurement [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, 34(1): 50-54. [孙先逵, 秦岚. 一种新型非接触位姿检测系统研究[J]. *光电工程*, 2007, 34(1): 50-54.]
- [2] Rudol P, Wzorek M, Doherty P. Vision based pose estimation for autonomous indoor navigation of micro-scale unmanned aircraft systems [C]//*Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Alaska, USA: IEEE, 2010: 1913-1920.
- [3] Xu W F, Liang B, Li C, et al. The approach and simulation study of the relative pose measurement between spacecrafts based on stereo vision [J]. *Journal of Astronautics*, 2009, 30(4): 1421-1428. [徐文福, 梁斌, 李成, 等. 基于立体视觉的航天器相对位姿测量方法与仿真研究[J]. *宇航学报*, 2009, 30(4): 1421-1428.]
- [4] Ruan L F, Wang G, Shang H Y. 3D position and attitude measurement based on marking points recognition [J]. *Computer Applications*, 2008, 11: 2856-2862. [阮利锋, 王赓, 盛焕焯. 基于标志点识别的3维位姿测量方法[J]. *计算机应用*, 2008, 11: 2856-2862.]
- [5] Fiala M. Designing highly reliable fiducial markers [J]. *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 2010, 32(7): 1317-1324.
- [6] Iv'an F. 3D pose estimation based on planar object tracking for UAVs control [C]//*Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Alaska, USA: IEEE, 2010: 35-41.
- [7] Wang X J, Pan S L, Song Z S, et al. Computer vision scheme for autonomous landing of unmanned helicopter on ship deck [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2007, 33(6): 686-689. [王晓剑, 潘顺良, 宋子善, 等. 无人直升机自主着舰的计算机视觉技术[J]. *北京航空航天大学学报*, 2007, 33(6): 686-689.]
- [8] Chen X P, Li R, Wang X, et al. A novel artificial landmark for monocular global visual localization of indoor robots [C]//*Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*. Xi'an, China: IEEE, 2010: 1314-1319.
- [9] Wang B F, Li G Y, Chen J H, et al. Two methods of coded targets used in rendezvous and docking [J]. *Journal of Astronautics*, 2008, 29(1): 162-166. [王保丰, 李广云, 陈继华, 等. 航天器交会对接中测量靶标的两种设计方法[J]. *宇航学报*, 2008, 29(1): 162-166.]
- [10] Robert H, Lee C N, Ottenberg K, et al. Review and analysis of solutions of the three point perspective pose estimation [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1994, 12(3): 331-356.
- [11] Lin Y. The research of improvement in Binocular vision pose measurement accuracy [D]. Hefei, China: University of Science and Technology of China, 2008. [林艳. 提高双目视觉位姿测量精度的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.]