

基于单目视觉的运动目标跟踪定位^{*}

孙彪

(中北大学 现代无损检测中心,太原 030051)

摘要:介绍了单目视觉跟踪定位系统的原理、组成,采用 Hough 变换提取运动目标的特征圆进行检测,基于邻域线性搜索与卡尔曼滤波器相结合的跟踪算法,准确实现运动目标的跟踪定位和运动轨迹的三维重建,并进行了相应的实验验证分析,给出了最终的实验结果。

关键词:单目视觉;跟踪;定位;Hough 变换;卡尔曼滤波器

中图分类号:TP392.6

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2010)04-0085-05

计算机视觉是计算机科学和人工智能的一个重要分支,它既是工程领域,也是科学领域中的一个富有挑战性的重要研究领域,已经吸引了来自各个学科的研究者参加到对它的研究之中。计算机视觉研究的主要内容是通过各种成像系统代替视觉器官作为信号输入手段,由计算机来代替大脑完成对信息的处理和理解^[1-4]。运动目标跟踪定位作为计算机视觉中的一个重要领域已经成为目前研究的热点问题,它通过视觉传感器对运动目标连续运动的图像序列的采集,从图像序列中对运动目标进行检测、跟踪、定位,最终实现对运动目标行为的描述和理解。

目前的计算机视觉跟踪定位主要有双目视觉传感器跟踪定位、双目视觉跟踪定位和单目视觉跟踪定位,但由于利用多目视觉传感器和双目视觉跟踪定位中存在着视场小、立体匹配难、系统结构庞大等缺陷,在很多场合已逐渐被结构简单、标定步骤少的单目视觉所代替。本实验中通过单目视觉实现了对运动目标的跟踪定位,设计了基于邻域线性搜索与卡尔曼滤波器相结合的跟踪算法,有效地减少了传统的跟踪算法对目标位置预测搜索的迭代时间,解决了在相邻帧图像中由于目标位置发生剧烈变化而容易出现目标丢失的问题,系统简单便携,具有较高的应用价值。

1 单目视觉跟踪定位系统

单目视觉跟踪定位系统主要通过一台摄像机对运动目标进行连续的图像序列的采集,应用设计好的算法在图像序列中对目标进行检测、跟踪、定位,并将运动目标的运动轨迹进行重建,对每时刻目标的三维空间位置坐标结果输出保存。系统原理框图如图1所示。

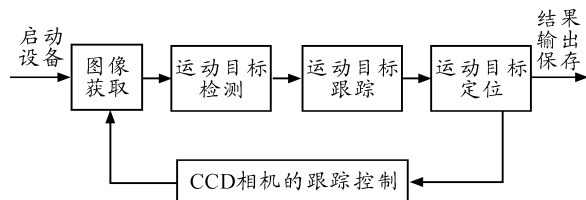


图1 单目视觉跟踪定位系统原理

由于要对运动目标进行精确的跟踪定位,所以在试验前要对摄像机的内参数进行标定测量,因此单目跟踪定位系统主要包括摄像机标定、运动目标检测、运动目标跟踪、运动目标定位4个部分。

1.1 摄像机标定

摄像机标定是通过摄像机获取物体的一系列二维像片来确定摄像机内外参数,解决三维物点与二维像点的对应关系问题,它是计算机视觉领域里从二维图像提取三维空间信息必不可少的一步。

目前,摄像机标定方法根据标定方式的不同,主要可以归结为以下2种:传统的标定方法和自标定方法。传统的摄像机标定方法是指用一个结构已知、精度很高的标定块作为空间参照物,通过空间点和图像点之间的对应关系来建立摄像机模型参数的约束,然后通过参数估计来求得这些参数。传统的方法典型代表有 DLT 方法(direct linear transformation)、考虑畸变补偿的两步法,以及简易标定方法。传统的标定方法的优点在于可以获得较高的精度,但它是一种静止的标定方法,且标定过程费时费力,在实际应用中比较有局限。自标定方法(self-calibration)是指直接由未标定的2幅或多幅图像来确定摄像机参数的过程,它克服了传统方法的缺点,不需要标定块,仅仅依靠多幅图像对应点之间的关系进行标定,但它一般没有考虑摄像

* 收稿日期:2010-01-29

基金项目:山西省自然科学基金资助项目(2007012003)。

作者简介:孙彪(1984—),男,硕士研究生,主要从事图像测量研究。

机畸变,算法迭代复杂,精度较低。

张正友标定方法鉴于传统标定方法和自标定之间,简单实用,而且在标定过程中考虑了镜头畸变,标定结果相对准确,因此在本实验中采用张正友标定法对三星 PL60 摄像机内参数进行标定。标定结果如下:

$$f = 15 \text{ mm}, u_0 = 3.125 \text{ mm}, v_0 = 1.695 \text{ mm}$$

1.2 运动目标检测

运动目标检测主要可以分为静态场景和动态场景两种情况。静态场景就是在拍摄视频时摄像机固定不动,图像序列中的背景是相对静止的,只有目标在做运动,这种情况下的检测相对简单一些,常用的检测方法有背景相减法 and 帧差法。动态背景就是拍摄视频时摄像机是运动的,因此拍摄出来的视频不只是目标在运动,背景也会随着摄像机的运动而运动,因此情况比较复杂。本实验中就属于动态背景情况下运动目标的检测跟踪,通过采用基于 Hough 变换的方法提取运动目标的特征圆来完成对运动目标的检测。

Hough 变换是由 Paul Hough 于 1962 年提出,并申请了专利。基本思想就是将图像空间的一点变换到参量空间的一条曲线或一个曲面,而具有同一参量特征的点经变换后在参量空间中相交,通过判断交点处的累计程度来完成特征曲线的检测^[5-6]。在 Hough 变换的圆检测方法(circle hough transform, CHT)中,圆的基本参数是圆心和半径,CHT 就是利用三维空间参数积累来提取圆的。

令 $\{(x_i, y_i) | i = 1, 2, \dots, n\}$ 是图像中待确定圆周上的点的集合,若该圆周的圆心坐标为 (a, b) , 半径为 r , 则圆周在图像空间中的方程为

$$(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 = r^2 \quad (1)$$

同样若 (x, y) 为图像集合中的一点,它在参数坐标系 (a, b, r) 中的方程为

$$(a - x)^2 + (b - y)^2 = r^2 \quad (2)$$

显然,该方程为三维锥面,对于图像中任意确定的一点均有参数空间的一个三维锥面与之相对应。对于圆周上的任何点的集合 $\{(x_i, y_i) | i = 1, 2, \dots, n\}$, 这些三维锥面构成了确定方程(1.1)中的参数的锥面簇,若集合中的点同在一个圆周上,这些锥面将相交于参数空间中的某一点 (a_0, b_0, r_0) , 这点恰好对应于图像空间中圆的圆心坐标和半径,如图 2 所示。

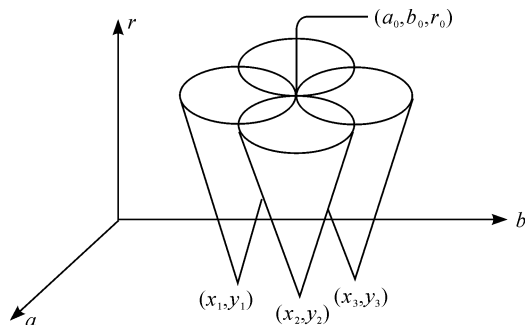


图 2 圆的参数空间 (a, b, r)

由于 Hough 变换的前提是要在二值图像中进行,因此在采集到的图像中首先对图像进行边缘提取,目前常用的边缘检测算法有 Canny 算子边缘检测、LOG 算子边缘检测、Prewitt 算子边缘检测、Sobel 算子边缘检测和 Robert 算子边缘检测。通过对各种算法的实验比较,本实验选用 Canny 算子对图像进行边缘提取,取得了较好的效果,实验结果如图 3 所示。

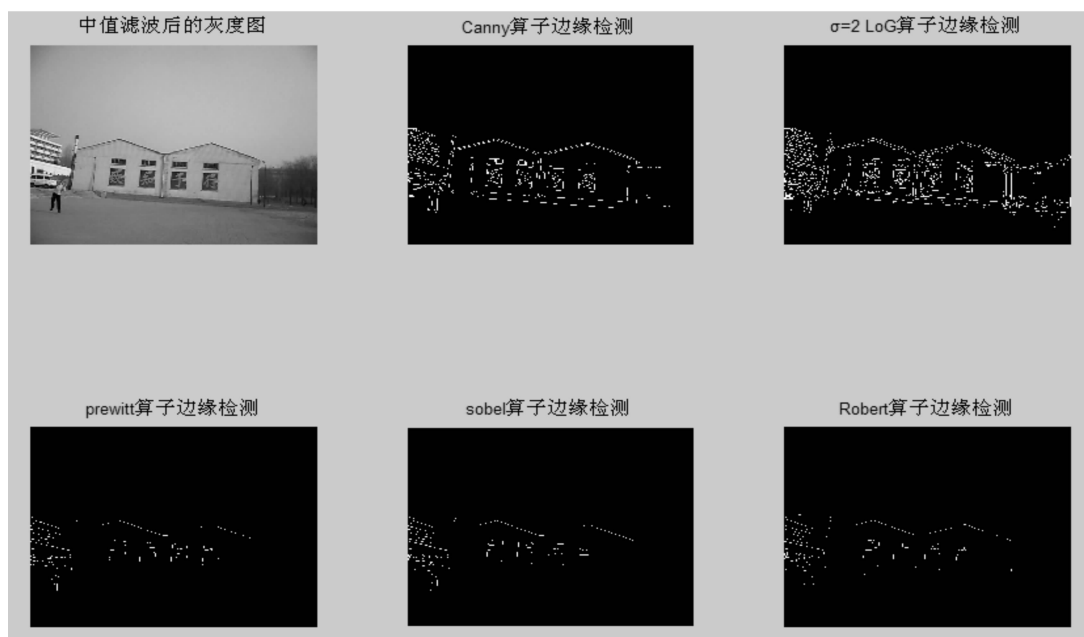


图 3 图像边缘检测算法比较

在利用 Canny 算子进行边缘提取后,通过 Hough 变换对图像中的运动目标特征圆进行提取检测,通过实验验证在复杂背景下提取取得了较好的效果,如图 4 所示。

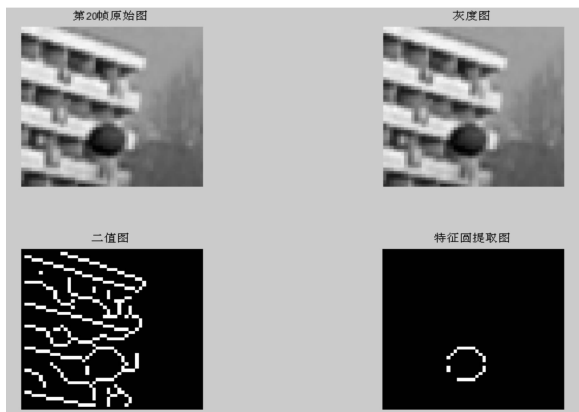


图 4 运动目标特征圆提取

1.3 运动目标跟踪

运动目标跟踪是计算机视觉的重要组成部分,它主要是针对包含目标的运动图像序列进行分析处理,确定运动目标在每帧图像中的具体位置,从而实现运动目标运动轨迹的三维重建。常见的运动目标跟踪方法主要有基于区域匹配跟踪、轮廓匹配跟踪和特征匹配跟踪。由于在本实验中要跟踪的是一个运动的篮球,具有较好的外形特征,因此采用提取图像中运动目标的特征圆进行跟踪^[7-8]。

在本实验中摄像机和运动目标背景都在不停的变化,不能采用常见的背景相减、帧差法等检测跟踪算法对目标进行跟踪,因此采用邻域线性搜索的检测跟踪算法对运动目标进行跟踪,如图 5 所示。

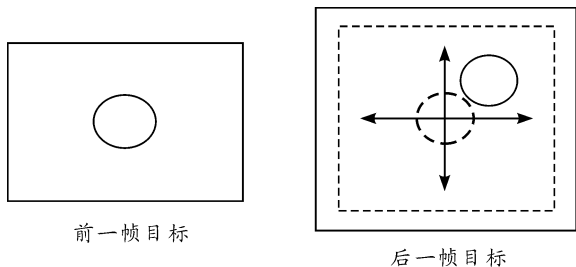


图 5 邻域线性搜索算法原理

在跟踪前首先人为选定第一帧图像中的运动目标,由于相邻两帧图像的目标运动不会太快,下一帧图像中运动目标的位置根据上一帧图像中运动目标的位置向 $T \times d$ (半径) 的区域搜索来确定,如红色框的,所以可以把后一帧的目标捕获住。但由于在某些情况下 2 帧图像之间运动目标位置变化极大,这样由于邻域线性搜索半径不能设置太大,这种情况下就容易出现目标丢失,导致后面的跟踪失败,针对这种情况,采用卡尔曼滤波器进行弥补。如果出现目标搜索不到的情况,就调用卡尔曼滤波器通过运动目标在上一帧图像中的位置来预测目标在当前帧的位置,以实现连续跟踪,这样既减少了传统跟踪算法的迭代次数,提高了跟踪的速度,又实现了连续跟踪的准确性。跟踪算法的流程如图 6 所示。

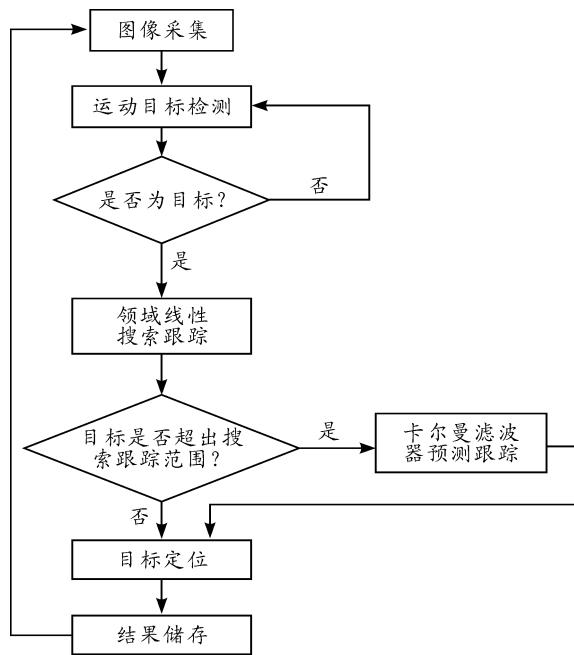


图 6 单目视觉跟踪算法流程

在本实验中,第 20 帧到 21 帧之间图像中运动目标之间的位置发生了剧烈的变化,但采用本实验的跟踪算法有效的解决了这个问题,实现了运动目标的持续跟踪。实验结果如图 7~8 所示。

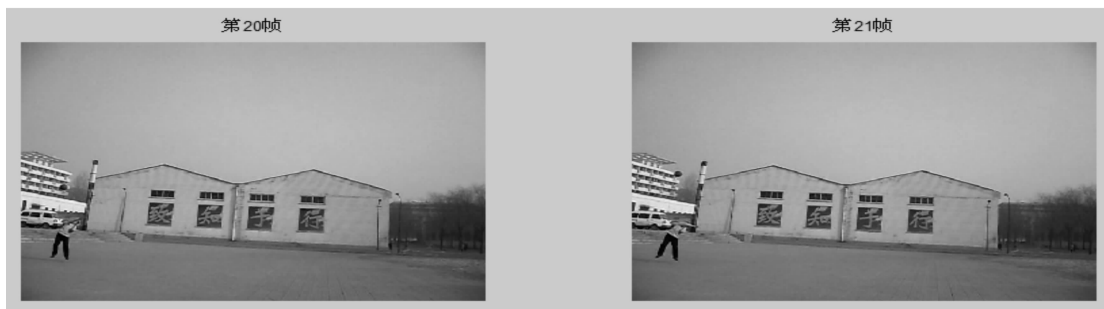


图 7 第 20 帧到 21 帧原始图



图8 第19帧到22帧图像的跟踪结果图

在摄像机采集的视频中对第23帧到31帧图像中运动目标进行了连续跟踪测试,经测试采用本实验设计的跟踪算法取得了较好的跟踪效果,实验结果如图9所示。

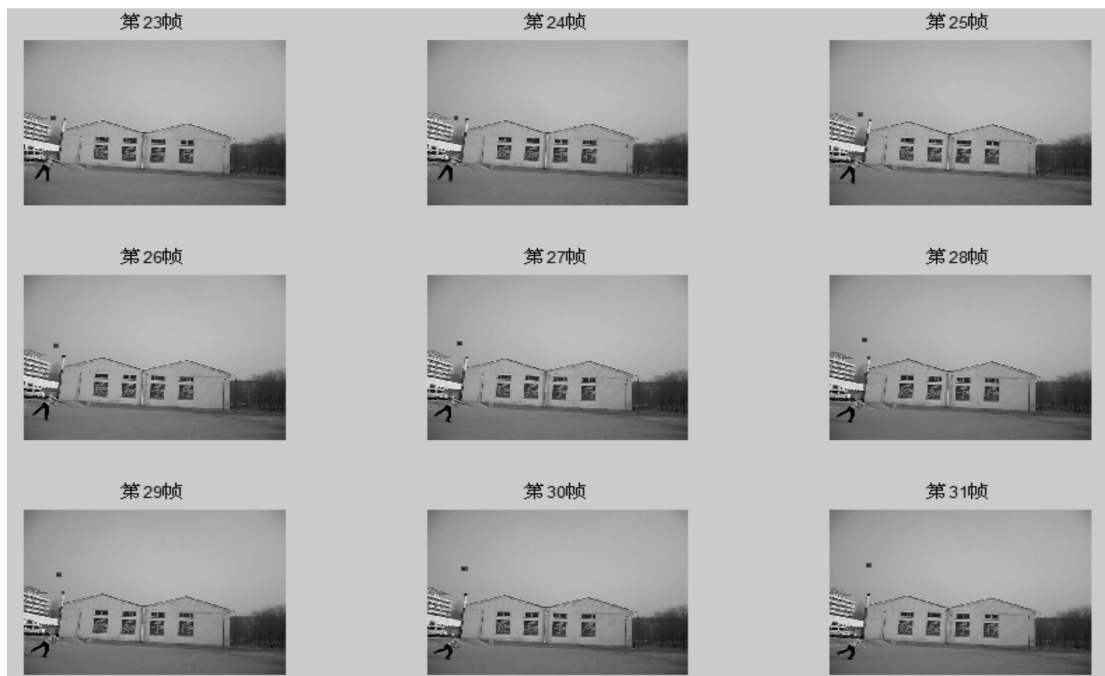


图9 第23帧到31帧图像跟踪测试

1.4 运动目标定位及三维重建

在双目图像定位中通过两个相机在不同位置所拍的目标图像的景深不同,可以将目标的位置准确定位出来,但在单目视觉定位中由于所采集的图像中运动目标的位置是一个位于图像坐标系下的二维坐标,因此如何通过图像序列将运动目标在二维图像坐标系下的位置转换到摄像机坐标系下的三维坐标是单目视觉定位所要解决的一个首要条件。在本实验中通过相似三角形原理实现了上述转换。如图10所示:

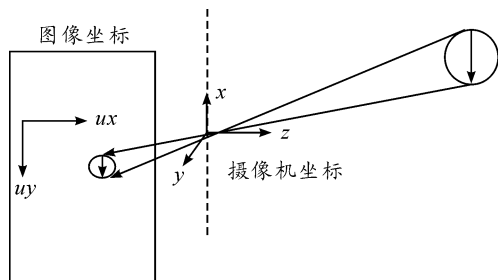


图10 单目视觉定位原理

$X = Z/f \times \text{center}(x); Y = Z/f \times \text{center}(y); Z = \text{objectsize}/d \times f;$

其中 f 为摄像机焦距, $\text{center}(x)$ 为在图像坐标系下运动目标的中心 x 坐标, $\text{center}(y)$ 为运动目标的中心 y 坐标, objectsize 为运动目标篮球的直径, d 为半径。

在本实验中通过对拍摄的一段空中运动的篮球轨迹进行了重建, 实验结果如图 11 所示:

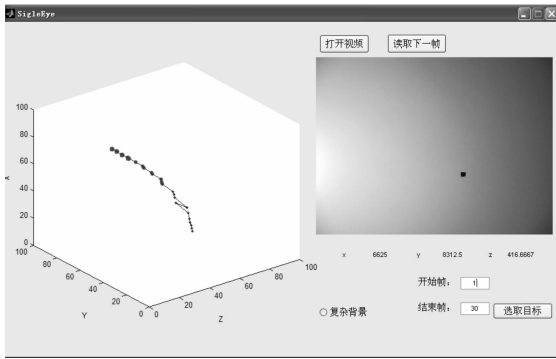


图 11 运动目标三维轨迹重建

2 结束语

本论文设计的基于邻域线性搜索与卡尔曼滤波器相结合的跟踪算法, 不仅在跟踪时间上减少了算法的迭代时间, 而且有效地解决了由于摄像机本身精度的原因, 在采集的相邻两帧图像之间出现丢帧, 运动目标位置发生严重的突变, 从而导致跟踪失败的问题, 并且实现了单目视觉

定位、运动目标运动轨迹的三维重建, 整个单目视觉跟踪定位系统简单便携, 在智能监控、运动分析、虚拟现实等领域中有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 孙即祥. 图像分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 冈萨雷斯, 伍兹. 阮秋琦. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [3] 罗磊, 田增山, 陈俊亚. EKF 定位跟踪算法研究[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2009, 21(1): 50-52.
- [4] 李乐. 基于 SOFM 神经网络的多目标跟踪方法[J]. 四川兵工学报, 2009, 30(4): 20-23.
- [5] 王国宏, 孔敏, 何友. Hough 变换及其在信息处理中的应用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2005.
- [6] 张杰, 杨晓飞, 赵瑞莲. 基于 Hough 变换圆检测的人眼精确定位方法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41: 43-44.
- [7] 侯宇. 基于 Hough 变换的图象检测对偶点法[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6: 746-749.
- [8] 辛瑞红. 运动目标的检测与跟踪研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.

(责任编辑 刘 舫)

(上接第 84 页)

3 结束语

本设计中利用 Proteus 和 Keil 对单片机多机通信进行仿真。通过仿真实例不难看出, 相对于硬件仿真, Proteus 仿真具有极佳的灵活性和可扩展性, 可以省去对于硬件的需求, 为研究串行通信提供了极大便利, 同时也为单片机应用开发提供了一种新的方法和手段。

参考文献:

- [1] 王可崇, 张继梅, 张广忠. 一种非主从式通信的多单

片机测控系统[J]. 电测与仪表, 2003, 40(7): 35-37.

- [2] 张靖武, 周灵彬. 单片机系统的 PROTEUS 设计与仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [3] 殷士勇. Keil 和 Proteus 在单片机实验教学中的应用[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2009, 26(6): 567-570.
- [4] 王迎旭. 单片机原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [5] 马忠梅, 马岩, 张凯, 等. 单片机的 C 语言应用程序设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997.

(责任编辑 陈 松)