

基于全景摄像头的柱面展开及实时目标跟踪

周明晖¹, 胡士强¹, 陈思聪²

(1. 上海交通大学航空航天学院, 上海 200240; 2. 加州大学伯克利分校应用数学与经济系, 美国 伯克利 94720)

摘 要: 传统摄像头在获取大范围复杂场景中的感兴趣目标时, 容易出现目标物体丢失或遮挡等问题。为此, 提出一种基于全景摄像头的柱面展开及运动目标实时跟踪算法。通过改进的柱面展开算法对 360°摄像头获取的全景图像进行还原展开, 解决全景图像中的成像扭曲问题。利用 CamShift 和 Kalman 预测相结合的算法跟踪运动目标。实验结果表明, 在运动目标存在遮挡、短暂消失或同色物体干扰的情况下, 该方法能实现对全景范围复杂环境中运动目标实时鲁棒的跟踪。

关键词: 全景摄像头; 柱面展开; 双线性插值算法; CamShift 算法; 卡尔曼滤波; 目标跟踪

Cylinder Unwarping and Real-time Target Tracking Based on Omni-directional Camera

ZHOU Ming-hui¹, HU Shi-qiang¹, CHEN Si-cong²

(1. School of Aeronautics and Astronautics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Department of Applied Math and Economics, University of California, Berkeley 94720, USA)

【Abstract】 Aiming at the problem that the interested target is disappeared or occluded easily in large range of complex scenes by using the traditional camera, a cylinder unwarping and real-time target tracking method based on panoramic camera is proposed. In this paper, an improved unwarping algorithm is adopted to transform the panoramic image from omni-directional image. This algorithm effectively solves the distortion problem of panoramic image, and then CamShift combining with Kalman filter algorithm is used to track the moving target. Experimental results demonstrate that the proposed algorithm realizes a real-time and robustness target tracking under large-scale and complex scenes, which contains moving target occluded, temporary disappearance or interference from objects with same color.

【Key words】 omni-directional camera; cylinder unwarping; bilinear interpolation algorithm; CamShift algorithm; Kalman filtering; target tracking

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2013.11.001

1 概述

计算机视觉是智能视频监控领域的重要研究方向, 大范围场景内的视景信息应用越来越广泛。目前, 计算机视觉的主要途径分单目视觉、双目视觉、多目视觉和全方位视觉^[1]。传统的单目视觉摄像头视野有限, 获取全局与大尺度信息较为困难。双目和多目视觉系统采用 2 个或多个摄像机配合^[2-3], 视野范围得到扩大。但不同坐标系下的数据融合、目标匹配等算法复杂度较高, 实时性不好。

全景摄像头可以获取水平方向 360°的场景信息, 在移动机器人、远程控制、虚拟现实等领域得到广泛应用^[4-5]。在全景视觉中跟踪目标, 最基本问题就是目标物体的特征提取。由于原始的全景图像首先经过反射镜反射, 然后经过透视镜折射, 最终成像失真^[6], 目标物体存在较大变形,

在运动时尺寸变化很大, 为后续的跟踪识别等算法带来很大困难。为此, 本文提出一种改进的柱面展开方法, 将全景图像展开为柱面图像, 以提高运动目标的实时跟踪能力。另一方面, 复杂环境中经常会出现光照变化、同色干扰或目标严重遮挡等问题, 仅使用 CamShift 跟踪算法容易丢失目标。因此, 本文在跟踪部分采取 CamShift 算法和 Kalman 预测相结合的方法, 以减少算法运算量, 从而有效抑制甚至消除背景颜色的干扰, 解决目标物体的遮挡问题, 实现对运动目标实时鲁棒的跟踪。

2 全景视觉跟踪算法

2.1 全景视觉柱面展开

现实世界中的场景经过双曲面反射镜反射和镜面透视镜折射后, 显示的全景图像成像扭曲, 不符合视觉习惯,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61074106)

作者简介: 周明晖(1988—), 女, 硕士研究生, 主研方向: 图像处理, 机器视觉; 胡士强, 教授、博士生导师; 陈思聪, 学士

收稿日期: 2012-10-22 **修回日期:** 2012-12-03 **E-mail:** elven.zhoumh@gmail.com

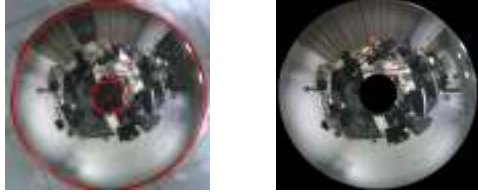
为了实现更直观的人机交互界面和后续的跟踪处理,需要将全景图像柱面展开^[7]。在目前的全景图像展开算法中,快速展开算法^[8]计算量较小,但展开精度低,展开后图像质量下降。光路跟踪映射法^[9]具有较高的展开精度,还原效果好,但需要摄像头参数多、运算量大,不能满足实时性需求。

为了解决这些问题,本文结合快速展开法和双线性插值法^[10],提出一种快速、高还原度的全景图像展开方法,以更好地满足移动机器人的实时处理和后续的运动目标跟踪。

2.1.1 全景图像同心圆中心点和内外圆半径的确定

对于全景图像柱面展开算法,最重要的参数是全景图像的中心点 $O(x_0, y_0)$ 和内外圆半径,这些参数的精度直接影响到柱面展开的效果。

本文采取霍夫圆变换(circle Hough transform)来得到全景图同心圆中心。首先采用 Canny、Sobel 等进行边缘检测。然后以边缘图像中每个非零点处为圆心作圆,这些圆如果经过图像中心,则圆上的非零点在三维累加器中被累加,并从累加器中选出候选的中心,即为全景图像的中心点 $O(x_0, y_0)$ 。对每一个中心考虑边缘非零像素与它的距离,将距离排序,拟合出非零像素最支持的一条半径,即为全景环状图的最大半径 R 。图 1(a)为检测出中心点和外圆半径的图像,图 1(b)为去掉内圆内和外圆外部分后的图像。



(a)霍夫圆变换检测的内外圆及中心 (b)去掉内外径后图像

图 1 霍夫圆变换结果

2.1.2 柱面展开插值算法

考虑环状全景图像的成像特点,任意一个半径圆环上的像素分布是均匀的,而径向上的像素点分布是不均匀的,因此,快速柱面还原法展开的图像在内环区域内像素失真较大,可以通过在内环区域内进行双线性插值处理,使展开后的图像保持原图的分辨率。

已知全景原图的圆心坐标 $O(x_0, y_0)$ 、内外圆半径 r 和 R 。全景环状图和展开后矩形图的数学模型如图 2 所示,全景环状图中 I、II、III、IV 和矩形图 4 个部分相对应。

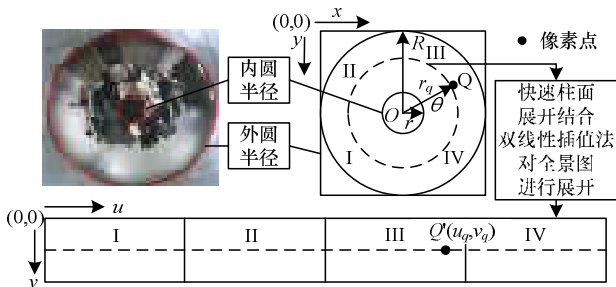


图 2 全景展开示意图

展开后的矩形全景大小为:

$$H_{rect} = R - r, W_{rect} = 2\pi R \quad (1)$$

其中, r 为内圆半径; R 为外圆半径。

对应全景环状图中某一点 $Q(x_q, y_q)$, 其对应矩形图中 $Q'(u_q, v_q)$ 的映射关系如下:

$$\begin{aligned} \theta &= u_q / R \\ x_q &= x_0 + (r + v_q) \sin \theta \\ y_q &= y_0 + (r + v_q) \cos \theta \end{aligned} \quad (2)$$

其中, θ 为环状图中像素点的极坐标角度,其取值的范围为 $0 \sim 2\pi$; (x_0, y_0) 为全景环状图的中心点; (x, y) 为环状图中像素点的坐标; (u, v) 为矩形图中对应的像素点坐标。

u 的最大值为矩形图的长,即:

$$u_{\max} = W_{rect} = 2\pi R \quad (3)$$

以上为快速柱面展开法,对公式进行逆运算即可得到展开后的矩形图像各个像素点。根据前文的分析,外环区域像素压缩程度小,可还原性强,内环区域像素压缩程度大,直接进行还原时图像失真较大,图片像素不清晰。因此,在内环区域内进行双线性插值,本文将全景图内环区域和外环区域分界点定为内外圆半径的中间点:

$$r_{sep} = (R - r) / 2 \quad (4)$$

当 $r_q \geq r_{sep}$ 时,归为外环区域,反之则归为内环区域。

改进后的算法示意图如图 3 所示。

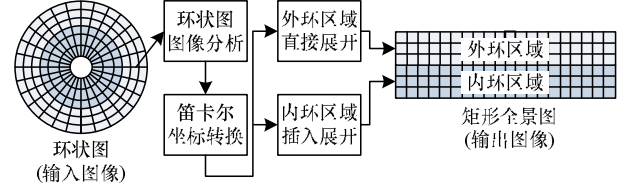


图 3 改进后的全景展开算法示意图

双线性插值算法假定当前需要插值像素点的浮点坐标为 $(i+u, j+v)$, $0 < u < 1$ 且 $0 < v < 1$, 则当前插值点的像素值由其全景图中周围相邻的 4 个像素点 (i, j) 、 $(i, j+1)$ 、 $(i+1, j)$ 、 $(i+1, j+1)$ 的值进行插值算:

$$\begin{aligned} f(i+1, j+1) &= (1-u)(1-v) \times f(i, j) + \\ &\quad (1-u)v \times f(i, j+1) + \\ &\quad u(1-v) \times f(i+1, j) + \\ &\quad uv \times f(i+1, j+1) \end{aligned} \quad (5)$$

为了方便计算,假定 $u = v = 0.5$, 式(5)化简为:

$$f(i', j') = \frac{1}{4} \left[f(i, j) + f(i, j+1) + f(i+1, j) + f(i+1, j+1) \right] \quad (6)$$

由此算得内环区域内展开图像的像素颜色值。展开结果如图 4 所示。



图 4 改进后柱面展开算法实验结果

2.2 基于全景展开的跟踪算法

基于全景展开的跟踪算法的描述如下:

(1) 实时获取全景摄像头的每一帧图像。对其进行上述改进的柱面展开。

(2) 在展开后的图像上选取要初始跟踪目标。对目标进行直方图分析, 并将目标质点作为 Kalman 滤波的初始位置, 并初始化 Kalman 参数。

(3) 读取下一帧图像, 预测当前帧方差矩阵 $P(k|k-1)$ 、目标状态 $X(k|k-1)$ 、目标预测位置 S_0 。

(4) 在预测目标位置 S_0 附近提取预测框, 利用 CamShift 搜索出运动目标的位置, 对其位置信息进行判别:

1) 若 CamShift 迭代出的搜索窗口中目标标位置和 Kalman 预测的位置相差超出设定阈值 Th , 跳转到步骤(5)。

2) 若在阈值范围内, 跳转到步骤(6)。

(5) 采用 Kalman 的预测结果替换 CamShift 的迭代结果, 继续步骤(6)。

(6) 将 CamShift 迭代出的目标位置作为 Kalman 的观测位置 Z_k 。

(7) 利用 Kalman 更新目标状态 $X(k|k)$ 以及方差矩阵 $P(k|k)$, 跳转至步骤(3)。

在 CamShift 算法中融合 Kalman 预测的方法如图 5 所示。

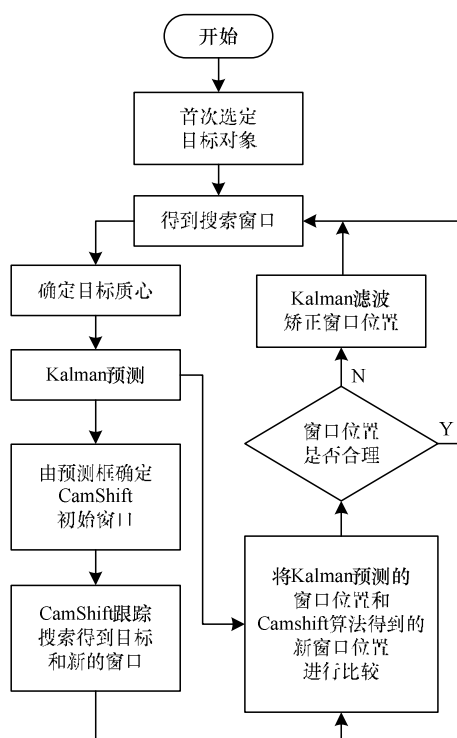


图 5 融合 Kalman 预测的 CamShift 算法流程

3 实验结果与分析

3.1 全景移动机器人及视觉摄像头

本文实验平台采用移动机器人包含全景视觉、超声测

距等传感器和轮式行走机构和 PC104 控制器等, 通过编程不同算法下载至控制器中可实现检测、跟踪识别等算法的功能和性能验证, 如图 6 所示。

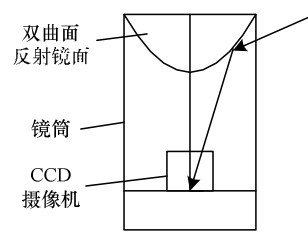


图 6 全景移动机器人实验平台

机器人的顶部为本次实验所采用的全景摄像头 OmniCam06-CMOS, 它由全景反射镜面、单孔摄像头、支撑玻璃管及 USB2.0 接口等 4 个部分组成, 如图 7(a)所示, 其简化模型见图 7(b)。实验结果用于全景移动机器人的视觉跟踪系统。



(a)OmniCam06-CMOS 全景摄像头



(b)反射式全景视觉结构

图 7 全景视觉系统

3.2 结果分析

实验数据为上述移动机器人上所配置的全景摄像头实时采集的实验室场景。本文系统采用 Visual Studio 2008 编译环境, 由 MFC 搭建移动机器人全景视觉人机交互系统软件界面。算法采用 C++ 语言和 OpenCV2.0 库函数编写。实验视频的分辨率为 800×600 像素, 处理速度可达到 14 帧/s。

将改进后的全景柱面展开算法以及 Camshift 和 Kalman 滤波结合的目标跟踪的算法用于全景移动机器人的实时视觉采集系统, 在实验室较为复杂的环境下对移动物体进行有效跟踪。

实验截取了不同时刻的跟踪情况, 全景图像大小为 800×600 像素, 展开柱面图像大小为 1820×240 像素。图 8 为实验结果, 图 8(a)和图 8(b)没有遮挡和干扰时的跟踪效果, 图 8(c)和图 8(d)为目标物体移动到其他物体后面出现遮挡和短暂消失时的跟踪状态, 图 8(e)和图 8(f)为出现同色系运动物体干扰遮挡情况下的跟踪状态。图 8(a)、图 8(c)和图 8(e)为 Kalman 算法预测的目标质心位置以及圈定的目标范围, 其中的圆点为运动目标的质心预测点, 在此范围内对运动物体进行 CamShift 跟踪搜索, 得到目标位置信息后

和下一帧 Kalman 预测点进行比照：若对照结果不在阈值范围内时,将 Camshift 跟踪到的位置当做 Kalman 预测算法的实际位置,对 Kalman 预测进行矫正;若对照结果在阈值范围内时得到准确跟踪结果,重复进行以上步骤。图 8(b)、图 8(d)和图 8(f)为展开后的全景矩形图,图中白色的框即最终对运动物体的跟踪结果。



图 8 对展开后矩形图进行目标跟踪的实验结果

表 1 为单独采用 CamShift 跟踪算法与本文融合 Kalman 滤波的 CamShift 跟踪算法在目标被遮挡、短暂消失以及同色物体干扰等情况下的结果对比。实验结果不仅证实了本文改进后的柱面展开算法能够快速有效地对全景视频进行转换,满足系统的实时性和图像的清晰度要求,并且表明 CamShift 结合 Kalman 预测的跟踪算法能够克服环境干扰,在目标被遮挡、短暂消失或者同色系物体干扰的情况下,都能够达到很好的跟踪效果。

表 1 不同情况下的实验结果

算法	视频	遮挡情况	短暂消失	同色物体干扰
CamShift	全景视频	失效	失效	失效
	展开视频	失效	失效	失效
Camshift+Kalman	全景视频	部分有效	部分有效	有效
	展开视频	有效	有效	有效

4 结束语

本文提出一种基于全景摄像头的柱面展开及运动目标实时跟踪算法,并将该算法应用于全景移动机器人视觉跟踪系统。为了获得更直观的图像,用快速展开算法对全景图进行还原展开,结合双线性插值算法对像素不清晰区域进行补充,得到失真度较小的全景矩形图;采用 CamShift 结合 Kalman 预测的跟踪算法对目标物体进行跟踪。实验结果表明,该算法减少了扫描区域,计算量较少,能够准确地跟踪目标物体,满足了实时性和鲁棒性的要求,为进一步实现移动机器人视觉系统、控制机器人准确移动奠定了基础。

参考文献

[1] 皮文凯,刘 宏,查宏彬. 基于自适应背景模型的全方位视觉人体运动检测[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2004, 40(3): 458-464.

[2] Black J, Ellis T. Multicamera Image Tracking[J]. Image and Vision Computing, 2006, 24(11): 1256-1267.

[3] 陈炳文,王文伟. 多摄像机目标跟踪系统综述[J]. 微型机与应用, 2010, 29(17): 1-3.

[4] Yagi Y. Omnidirectional Sensing and Its Applications[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 1999, E82-D(3): 568-579.

[5] Benosman R, Kang S B. Panoramic Vision: Sensors Theory and Applications[M]. New York, USA: Springer-Verlag, 2001.

[6] Bonarini A, Aliverti P, Lucioni M. An Omnidirectional Vision Sensor for Fast Tracking for Mobile Robots[J]. Instrumentation and Measurement, 2000, 49(3): 509-512.

[7] Bunschoten R, Krose B. Robust Scene Reconstruction from an Omnidirectional Vision System[J]. Robotics and Automation, 2003, 19(2): 351-357.

[8] 凌云峰,朱齐丹,吴自新,等. 全景视觉图像柱面理论展开算法实现及其改进[J]. 应用科技, 2006, 33(9): 4-6.

[9] Tomas S, Tomas P. Epipolar Geometry for Central Catadioptric Cameras[J]. Journal of Computer Vision, 2002, 49(1): 23-37.

[10] 冯永明,杨东勇,卢 瑾. 全方位图像展开的双线性内插值法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(15): 54-55.

编辑 任吉慧