

基于单目仿人机器人的障碍物测距方法^①

彭 飞, 魏衡华

(中国科学技术大学 自动化系, 合肥 230027)

摘 要: 为了能够实时测量机器人与障碍物的距离, 提出一种单目视觉的方法. 首先将机器人获取的 RGB 图像转换为 HSV 图像, 在 HSV 颜色空间对障碍物进行检测和识别, 然后利用小孔成像原理和几何坐标变换, 计算障碍物与机器人的距离. 最后将该方法应用到实验室 Darwin 仿人机器人上, 实验结果表明该方法具有可行性和有效性.

关键词: 单目; 测距; 障碍物检测; 机器人; HSV 颜色空间

Study on Obstacle Distance Detection Based on Monocular Humanoid Robot

PENG Fei, WEI Heng-Hua

(Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: In this paper, a monocular vision method is proposed to measure the distance between the robot and the obstacle. Firstly it converts the RGB image which is obtained from the robot to HSV image, then detects and identifies the obstacle in the HSV color space. Secondly it calculates the distance between the robot and obstacle using pinhole imaging principle and geometric coordinate transformation. Finally the method is tested on the Darwin humanoid robot; the result from the experiment proves the effectiveness and feasibility of the method.

Key words: Monocular; ranging; obstacle detection; robot; HSV color space

随着移动机器人技术的发展, 对导航技术的研究也越来越深入, 视觉导航已变成了导航技术的一个研究热点^[1], 视觉导航的优点在于具有很高的分辨率, 探测范围广、精度高, 获取信息量大, 这对自主移动机器人及智能车辆导航具有重要的意义^[2]. 目前基于视觉的距离信息提取方法主要有单目视觉、双目视觉和全景视觉, 全景视觉和双目视觉虽然可以获得图像深度信息, 但是需要精确的配准, 耗时的配准过程难以满足实时性的要求^[3,4]; 单目视觉方法结构简单, 操作方便, 易于实现实时测量. 在单目视觉测距方法的研究中, 文献[5]提出利用单目摄像机构建双目视觉系统, 这种方法虽然能够融合单目和双目测距的优点, 但减少了允许的图像视差, 文献[6]通过检测目标的模糊度来计算目标距离虽然算法简单, 但是模糊度的检测依赖于图像处理的好坏, 这使得测量结果很难保持稳定, 而本文采用的是基于平面假设的对应点标记法, 只要

摄像机在机器人上的固定姿态已知, 则可以比较精确地计算出机器人与障碍物之间的距离, 最后通过仿人机器人试验验证了该方法的准确性.

1 障碍物检测和分割

障碍物能否被成功的检测和分割是测距方法的前提和基础, 首先对采集的图像进行腐蚀和膨胀处理并进行中值滤波以减少噪声的影响, 为了进一步提高障碍物检测的准确性, 减少光照的敏感度, 本文提出将预处理后的 RGB 图像转换为 HSV 图像, 然后设定阈值分离目标和背景. HSV 颜色空间模型是一种直观的颜色模型, 也是最接近人眼的色彩感知空间, 在图像的重定向中利用 HSV 颜色空间能很好的保证图像的质量^[7,8], 其中 $H(0 \sim 360)$ 代表色调, $S(0 \sim 1)$ 代表饱和度, $V(0 \sim 1)$ 代表亮度.

RGB 到 HSV 的转换步骤如下:

^① 收稿时间:2013-01-06;收到修改稿时间:2013-02-28

Step1 $M = \max(R, G, B), N = \min(R, G, B)$

Step2 $V = M, S = \left(\frac{M-N}{M}\right)$

Step3 if $G = M, H = 120 + \left(\frac{(B-R)*60}{M-N}\right)$

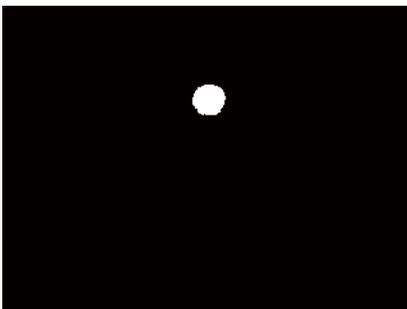
if $B = M, H = 240 + \left(\frac{(R-G)*60}{M-N}\right)$

if $H < 0, H = H + 360$

本文采用红色小球作为障碍物, 根据色调分布可以取 $341 \leq H \leq 360$ 或者 $0 \leq H \leq 11, S \geq 50, V \geq 10$ 对图像进行分割, 如图 1 中(a)和(b)分别表示分割前后的结果.



(a) 原图像



(b) HSV 分割后的结果
图 1 原图与分割后的图像

2 实时测距算法

单目视觉系统可以简化如图 2 所示的针孔成像模型^[9], 其中 $ABCD$ 为机器人所看到的梯形区域, o 为机器人摄像头中心点, oG 为机器人摄像头光轴, G 为光轴与地面的交点, $abcd$ 为像平面矩形的四个端点, 机器人右手边定义为 X 轴方向, 机器人正前方定义为 Y 轴方向.

图 3 为机器人 Y 方向的投影关系, 设 δ 为机器人俯仰角(如图 3 中角 OoG), 2β 为摄像机的垂直视场角

(如图 3 中角 AoB), γ 为角 GoE , 利用几何关系可得:

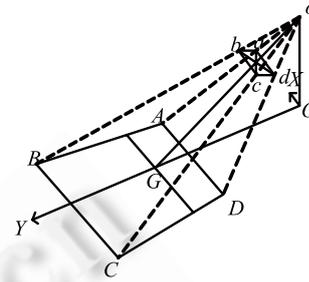


图 2 针孔成像模型

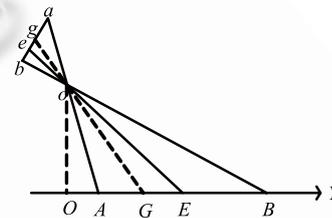


图 3 Y 方向投影关系

$$\gamma = \arctg \frac{y * 2tg(\beta)}{H} \quad (1)$$

$$OE = h * tg(\alpha + \gamma) \quad (2)$$

h 为摄像头高度, y 为目标点在图像平面上的 y 坐标, L 为像平面的高度, 根据上面的式子可得机器人与障碍物的 Y 方向的距离:

$$d_y = h * tg\left(\delta + \arctg \frac{y * 2tg(\beta)}{L}\right) \quad (3)$$

图 4 为机器人 X 方向的投影关系, 设 P 为目标点位置, 2θ 为机器人的水平视场角(如图 4 中角 LoE), γ_1 为角 PoE , 由图 4 所示的几何关系可得:

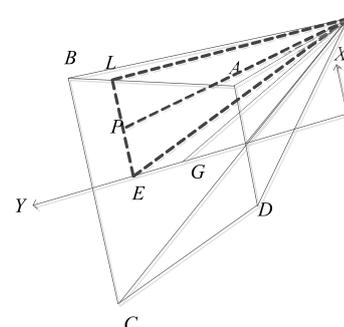


图 4 X 方向投影关系

$$\gamma_1 = \arctg \frac{x * 2tg(\theta)}{M} \quad (4)$$

$$oE = \frac{OE}{\sin(\delta + \gamma)} \quad (5)$$

$$PE = oE * tg\gamma_1 \quad (6)$$

根据式(3)、(5)、(6)可得障碍物在机器人 X 方向的距离为:

$$d_x = \frac{h * tg\left(\delta + arctg \frac{y * 2tg(\beta)}{L}\right) * \frac{x * 2tg(\theta)}{M}}{\sin(\delta + \gamma)} \quad (7)$$

其中 x 为目标点在图像平面上的 x 坐标, M 为图像平面的宽度.

3 机器人摄像头内部参数标定

在公式(3)和(6)公式中, 2β 、 2θ 和 h 是可以直接测量的, 摄像机的俯仰角 δ 由机器人头部两自由度电机控制, 可以根据读取电机的转角求得, 因此也可以直接得到, x 和 y 是分别为目标点在像平面上的投影坐标在 x 轴和 y 轴上的分量, 单位是 mm, 由于图像在计算机中是以像素形式存放, 所以只能得到目标点的像素坐标, 也被称为帧存坐标^[10], 因此需要将像素坐标转换为像平面坐标, 计算机图像中心一般与光轴与地面的交点重合, 所以有变换关系:

$$y = (Y - Y_0) * t \quad (7)$$

$$x = (X - X_0) * s \quad (8)$$

其中 s 和 t 为分别单位像素间距在像平面 x 轴和 y 轴方向的物理尺寸, (X, Y) 为目标点的像素坐标, (X_0, Y_0) 为像素图像的中心点坐标. 已知 $L = 4.6cm$, $M = 5.8cm$, $W = 320pi$, $H = 240pi$, 所以有 $s = \frac{M}{W}$, $t = \frac{L}{H}$, W, H 分别为计算机图像平面的宽和高, 这样可以求得 $t = 0.0192cm / pi$, $s = 0.0181cm / pi$.

4 实验结果

本文所提出的算法是在 Darwin 仿人机器人(如图 5 所示)进行的实验, Darwin 机器人是基于 PC 人形机器人, 机器人拥有 20 自由度, CPU 主频 1.6GHz, 内存 2GB, 操作系统为 ubuntu 8.10, 摄像头分辨率为 320*240, 机器人高度 $h = 30cm$, 垂直视场角为 $2\beta = 46$ 度, 水平视场角为 $2\theta = 58$ 度, 当机器人俯仰角 $\alpha = 56$ 度分别取障碍物的距离为 40cm, 50cm, 60cm, 70cm, 80cm, 90cm, 100cm 可得表 1 所示实验结果, 当 y 方向的距离取 60cm

时, x 分别取 -30cm, -20cm, -10cm, 0cm, 10cm, 20cm, 30cm 可得如表 2 所示实验结果.



图 5 Darwin 机器人

表 1 y 方向不同距离的实验结果

实际 y 方向距离 (cm)	40	50	60	70	80	90	100
计算距离 (cm)	40.64	50.7	62.5	73.1	80.03	91.4	101.9
误差(%)	1.6	1.4	4.1	4.4	0.04	1.5	1.9

表 2 x 方向不同距离的实验结果

实际 x 方向距离 (cm)	-30	-20	-10	0	10	20	30
计算距离 (cm)	-31.1	-19.3	-9.51	0.05	9.67	19.6	31.3
误差(%)	3.67	1.4	4.9	5	3.3	2.0	4.3

从表 1 和表 2 可以看出利用本文提出是测距方法误差率不超过 5%, 说明了该方法的实用性.

5 结论

本文为单目视觉仿人机器人的障碍物距离测量提供了一种有效的方法, 算法利用 HSV 颜色空间的分量对障碍物和背景进行分割, 提高了障碍检测的准确性, 根据针孔成像模型推导出障碍物的距离公式, 实现了单目视觉的距离测量, 最后在实验室 Darwin 仿人机器人上对该方法进行了实验论证, 实验结果表明该方法具有可行性.

(下转第 119 页)

算优先级环节,以此来决定获得资源的任务,而该过程的时间消耗极少.实验中我们还发现,FifoScheduler 在同一时刻只调度一个作业,而 FariScheduler 和 TwoPhaseRTScheduler 则能保证四个作业同时推进.这是因为本文算法通过优先级改变保证任务交替获取资源,宏观上表现为多任务同时执行.这也说明两阶段实时调度策略可适用于多任务环境.

4 结语

为了解决 MapReduce 实时调度问题,本文提出了一种软实时调度算法,通过任务时间估计和优先级动态修订,并结合延迟调度策略,在保证机群效率的同时实现实时调度.实验结果表明,本文提出的实时调度策略在实时性方面优于现有调度算法,同时能保证系统吞吐量不会降低.

参考文献

- 1 Dean J, Ghemawat S. MapReduce: simplified data processing on large clusters. ACM, New York, NY, USA, 2008: 107–113.
- 2 White T, 周敏奇, 王晓玲, 金澈清, 钱卫宁. Hadoop 权威指南. 第 2 版. 175–177.
- 3 Zaharia M. Hadoop Fair Scheduler Design Document. 2009.
- 4 Polo J, Carrera D, Becerra Y, Torres J, yguadé E, Steinder M, Whalley I. Performance-driven task co-scheduling for Map

Reduce environments. Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2010 IEEE. 373–380.

- 5 Kc K, Anyanwu K. Scheduling Hadoop Jobs to Meet Deadlines. Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2010 IEEE 2nd International Conference. 388–392.
- 6 Dong XC, Wang Y, Liao HM. Scheduling Mixed Real-Time and Non-real-Time Applications in MapReduce Environment. 2011 IEEE 17th International Conference on Parallel and Distributed Systems.
- 7 Dou AJ, Kalogeraki V, Gunopulos D, Mielikainen T, Tuulos V. Scheduling for Real-Time Mobile MapReduce Systems. Proc. of the 5th ACM international conference on Distributed event-based system, 2011. 347–358.
- 8 Zaharia M, Borthakur D, SenSarma J, Elmeleegy K, Shenker S, Stoica I. Job scheduling for multi-user Map Reduce clusters. EECS Department, University of California, Berkeley, Tech. Rep. UCB/EECS-2009-55, Apr 2009.
- 9 Phan LTX, Zhang ZY, Loo BT, Lee I. Real-time Map Reduce Scheduling. Technical Report No. MS-CIS-10-32, University of Pennsylvania, 2010.
- 10 Davis RI, Burns A. A survey of hard real-time scheduling algorithms and schedulability analysis techniques for multi-processor systems. Technical report, Dept. of Computer Science, University of York, 2009.

(上接第 90 页)

参考文献

- 1 王志文, 郭戈. 移动机器人导航技术现状与展望. 机器人, 2003, 25(5): 193–197.
- 2 徐德, 邹伟. 室内移动服务机器人的感知、定位与控制. 北京: 科学出版社, 2008.
- 3 张毅, 罗元, 郑太雄. 移动机器人技术及其应用. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- 4 吴刚, 唐振民. 单目式自主机器人视觉导航中的测距研究. 机器人, 2010, 32(6): 828–832.
- 5 张广军. 机器视觉. 北京: 科学出版社, 2005.
- 6 张法全, 路立平, 沈满德, 陈良益, 崔光照. 单目视觉目标距离测量方法研究. 光子学报, 2009, 38(2): 453–456.

- 7 Lee WL, Hsieh KS. A robust algorithm for the fractal dimension of images and its applications to the classification of natural images and ultrasonic liver images. Signal Processing, 2010, 90(6): 1894–1904.
- 8 Liu YJ, Luo X, Xuan YM, Chen WF, Fu XL. Image Retargeting Quality Assessment Computer Graphics Forum, 2011, 30(2): 583–592.
- 9 郭磊, 徐友春, 李克强, 连小珉. 基于单目视觉的实时测距方法研究. 中国图象图形学报, 2006, 11(1): 74–81.
- 10 王荣本, 李斌, 储江伟, 纪寿文. 公路上基于车载单目机器视觉的前方车距测量方法的研究. 公路交通科技, 2001, 18(6): 94–98.