

一种基于母机器人视觉指引的子机器人回收方法

赵鹏 曹志强 陈旭潮 徐德

(中国科学院自动化研究所 复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京 100190)

摘要 本文设计了一种用于子母式机器人系统的子机器人回收方法, 母机器人基于视觉感知子机器人相对回收入口的位姿以用于指导子机器人. 子机器人的左右两侧和后侧分别贴有上下排布的双色色标, 母机器人通过连通生长的方式快速提取所感知到的各色标的颜色交界, 进而获得相应色标在图像平面中的位置信息以及长度比例关系, 指导子机器人进行航向调整, 最终使得子机器人以合理的姿态进入回收舱. 实验结果表明了该方法的有效性.

关键词 子母式机器人; 回收; 视觉指引; 颜色交界; 连通生长; 长度比例.

中图分类号 TP24

A Docking Approach for Child Robot Based on Vision Guiding By Mother Robot

Peng Zhao, Zhiqiang Cao, Xuchao Chen, De Xu

(State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems, Institute of Automation,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract A docking approach for child robot suitable for marsupial robot is designed in this paper. The mother robot obtains the posture of child robot relative to the docking entrance by visual perception to instruct the child robot. In each of left, right and back sides of child robot, there is a color symbol with two colors arranged vertically. The mother robot extracts the color borderline of each symbol it observed in a way of connection growing, and then the position information of corresponding color symbol in image as well as the length ratio can be acquired to guide the motion of child robot. Finally, the child robot enters the docking station in an appropriate posture. This approach is verified by experimental results.

Key words Marsupial Robot; Docking; Vision guiding; Color borderline; Connection growing; Length ratio.

随着机器人技术的发展和应用领域的不断拓展, 机器人系统环境适应能力的需求越来越高[1]. 考虑到环境的复杂性使得单纯一类机器人可能无法完成任务, 子母式机器人受到了重视[2][3][4], 子母式机器人旨在整合航运型机器人(母机器人)对航程的适应力及小型机器人(子机器人)对特定工作空间或特定工种的适应力. 鉴于子母式机器人对环境优良的适应能力, 国内外研究机构从地-空、海-空[2]、地-地[5][6][7][8]等多角度开展研究工作, 并研发出相应的实验样机, 代表性的包括 MACS-RACS 系统[5]、用于城镇搜索和救援的 Silver Bullet 与 Bujold 系统[6]、Pioneer 2-AT/Scouts 系统[7]等. 其中, 子机器人的回收是一个非常关键的难点.

Dellaert 等人设计的室内搜救子母式系统, 采用远程遥控方式完成子机入舱[8], 在实际应用中具有较大的局限性. 子母式机器人 Bujold&Silver Bullet, 子机器人 Bujold 上携带摄像头, 回收时将其图像信息传给母机器人用于入口引导标识的提取[9], 有线的子母连接限制了子机器人的活动范围, 若采用无

线方式回传图像, 又会占用大量的通讯带宽, 易受干扰且实时性难以保证. 回收方式还包括子机器人主动视觉找寻回收舱以及母机器人视觉指引的方式[10], 前者子机器人通过自身视觉识别回收舱的引导标识, 进而执行入舱; 后者主要是考虑到环境和任务的复杂性、子机器人体积与运算能力等受限情况下可能单纯依靠自身感知无法完成入舱, 此时, 借助母机器人较强的能力以实现对于子机器人入舱的有效指引.

本文给出了一种母机器人视觉指引下的子机器人回收方法, 母机器人依靠子机器人左右侧以及后侧上贴有的上下排布的双色色标完成对于子机器人位姿的获取, 进而调控子机器人的运动, 指引其进入回收舱中.

1 母机器人视觉指引的子机器人入舱

本文所述子机器人为履带式平台, 以微处理器 STM32 为控制器, 前部可装配一个四自由度的机械手, 后部有一个立方体凸台, 其左侧、右侧和后侧

收稿日期 2013-04-30.

作者简介 赵鹏(1987-), 男, 博士研究生, E-mail: peng.zhao@ia.ac.cn.

曹志强(通信作者)(1974-), 男, 副研究员, E-mail: zhiqiang.cao@ia.ac.cn.

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (61273352, 61175111, 61227804).

的上部均贴有红色块与绿色块构成的双色色标，且左侧和右侧的色标排列方式相同。母机器人视觉采集用摄像头安装于回收舱的上方，以 PC104 为控制器，在 windows XP 环境中运行由 C++ 语言编写的控制程序。根据单目视觉的特点，摄像头视野中最多会出现子机器人三色色标中的两侧。母机器人根据视野中所出现色标的位置及长度关系，判断子机器人相对回收舱入口的方位以及航向，指导子机器人进行左右转动和后退动作，直至子机抵达回收入口中线，通过原地转动使左右侧色标消失，表明子机器人的后侧正对入口，继而后退倒行直至入舱。

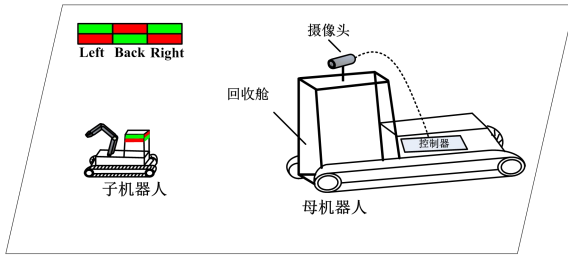


图 1 子机器人回收示意图

2 视觉信息提取与航向控制

视觉信息提取基于色标的两类颜色交界特点进行。色标有两类交界方式：子机器人的左右侧均为上绿下红式（定义为 A 类交界），而其后侧为上红下绿式（定义为 B 类交界）。

为降低对光线强弱的敏感度，又避免需要大量浮点型运算的色彩空间转换，在判断各像素点或红或绿时，按照如下方式确定像素点颜色属性：

- $(r > b + (b >> 1)) \&\& (r > g + (g >> 1))$
表示 $r > 1.5b \cap r > 1.5g$ ，即为红色像素点
- $(g > b + (b >> 1)) \&\& (g > r + (r >> 1))$
表示 $g > 1.5b \cap g > 1.5r$ ，即为绿色像素点
- 其它

2.1 两类颜色交界线段的提取

特征提取通过连通生长方式一次图像遍历即可完成，在图像平面由左到右逐列扫描，寻找各色标排列方式的交界点，进行连通生长形成相应的交界线段。

扫描时每找到一个新的交界点进行如下操作：

- 对比已生成的同类交界线段，判断其和已生成线段的右侧点是否邻近，合并或者记录为新生成的该类线段。

- 远离当前扫描列的非最长线段不再记录，最终获取两种排列方式各自对应的最长交界线段。考虑到环境噪音等情况，当 A 类最长的交界线段过短或者距 B 类线段过远时，其被剔除。

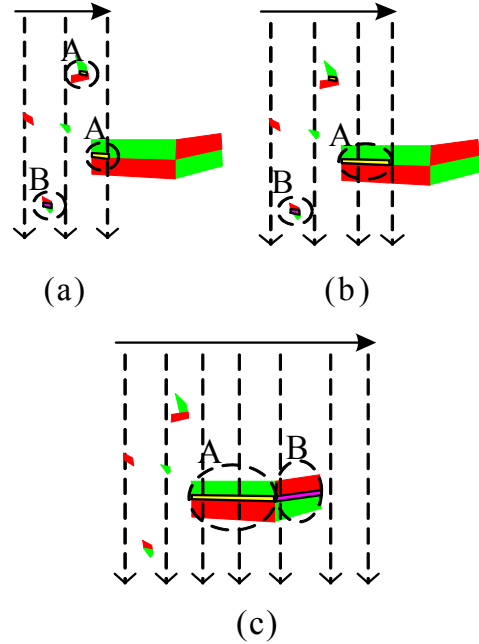


图 2 连通生长示意图，其中，(a)逐列扫描，寻找交界点形成 A、B 两类交界线段；(b)找到交界点后连通生长邻近相应交界线段，远离当前扫描列的非最长线段不再记录；(c)确定两类交界各自最长线段。

扫描结束后，得到两类交界线段的长度记为 l_a 、 l_b ，以及各自中点在图像坐标系中的横向坐标 u_a 和 u_b ，分别对应着子机器人左右侧和后侧色标的长度和位置。由于母机器人视觉不可能同时感知到左侧色标和右侧色标：如果 $u_a < u_b$ ，即视野中 A 类交界出现在 B 类交界的左侧，说明母机器人捕获到的是子机器人左侧色标和后侧色标；如果 $u_a > u_b$ ，则说明母机器人捕获到了子机器人的右侧色标和后侧色标；A、B 两类交界线的不可能相互交叠，所以 u_a 和 u_b 不可能相等；若图像中只有 B 类线段，表明子机器人的尾部正对摄像头。

2.2 子机器人航向控制

首先定义两个变量：子机器人在视景中的方位系数 U_m 、左或右侧色标占色标整体投影长度比例因子 R_m ，用于分别反映子机器人相对回收入口的方位和偏角。

基于提取出的色标相关信息，有：

$$U_m = \begin{cases} \frac{(u_a + u_b) - w}{w} & (l_a > 0) \\ \frac{2u_b - w}{w} & (l_a = 0) \end{cases} \quad (1)$$

$$R_m = \text{Sgn}(u_b - u_a) \frac{l_a}{l_a + l_b}$$

其中, w 为图像的宽度. 由式(1)可知, 当 U_m 接近-1 时, 子机器人出现在视景的左侧边界附近, U_m 接近 1 时子机器人出现在右侧边界周围, 当子机器人处于视景中央时, U_m 为 0; R_m 值随子机器人顺时针转动而减小, 逆时针转动而增加, $R_m=0$ 表示子机器人的尾部正对摄像头.

如图 3 所示, 可知在 $R_m=0$ 若子机器人后退靠近摄像头, U_m 将保持不变; 而在 $R_m<0$ 若子机器人由图像右侧后退时, U_m 将逐渐减少.

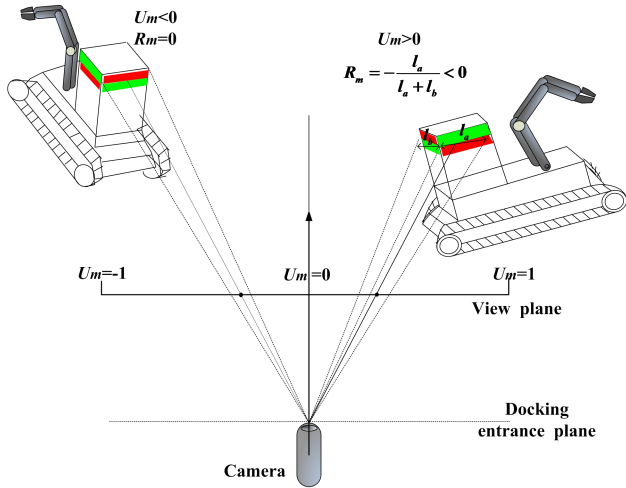


图 3 变量 U_m 和 R_m

子机入舱的航向控制策略可归纳如下:

- 若当前 $U_m < 0$, 则需通过子机器人的原地旋转使得其左侧色标出现在视野中 ($R_m > 0$), 子机器人后退用于增加 U_m 的值. 需要注意的是, U_m 值越负, 原地旋转后的 R_m 应当越大, 这样有利于减小后续入舱耗时.
- 若当前 $U_m > 0$, 则需通过子机器人的原地旋转使得其右侧色标出现在视野中 ($R_m < 0$), 子机器人后退用于减小 U_m 的值. 类似的, U_m 值越大, 原地旋转后的 R_m 应当越负.
- 在 U_m 基本为零时, 保持 R_m 的值为零, 使子机对准入口后退入舱.

3 实验验证

为验证上述方法的效果, 设计了如下实验. 图 4 和图 5 给出了实验 1 的实验结果, S_c 和 E_c 分别为子机器人的初始位置和终止位置. 初始时, 子机器人位于摄像头左侧 (从母机器人视野的角度). 由于初始运动时子机器人离摄像头较远, 所提取到的交界线段很短, 这使得少量像素点的跳变会导致色标长度比例明显变化, 因此该阶段 R_m 起伏较大; 当子机器人靠近回收舱门时视野中色标尺寸较大, 其中心点微弱偏移也会表现的比较明显, 这会导致此时 U_m 和 R_m 发生一定的起伏. 由图 5 所示的子机器人运动轨迹, 它在其第一次抵达入口正前方发生了一次超调, 此时子机迅速回转, 最终对准舱门成功入舱.

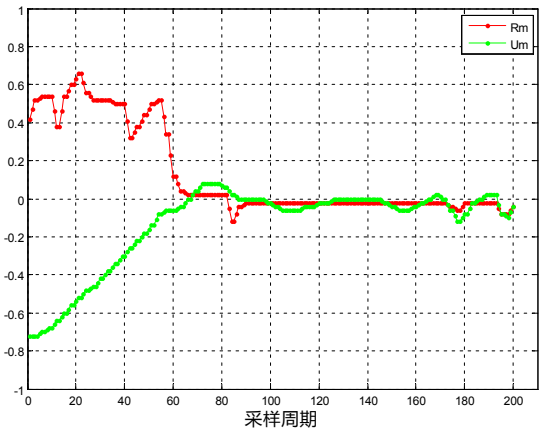


图 4 实验 1 变量 U_m 和 R_m 曲线

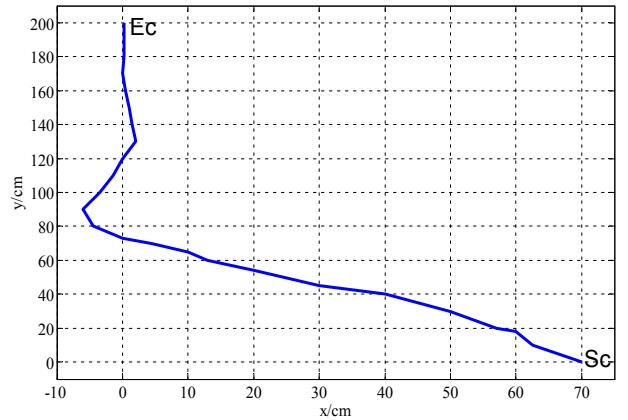


图 5 子机器人运动轨迹

为了进一步验证所设计方法的性能, 在实验 2 中增加了三次人为的干扰, 结果如图 6 和图 7 所示, S_c 和 E_c 分别为子机器人的初始位置和终止位置. 当子机器人第一次对准舱门后, 人为逆时针旋转子机器人增加其左侧色标在图像平面中的投影长度, 使

得 R_m 的值突然变大,子机器人将顺时针旋转对准舱门,继续趋近;而后再次给予干扰,顺时针手动旋转子机器人几乎使其右侧的色标完全对准摄像头, R_m 的值接近下限,此时子机器人回转再度对准舱门;在临近入舱时再次加以干扰,将子机器人手动从位置 S_a 移至 S_b ,最终子机克服了扰动,顺利完成任务,满足了回收的要求。

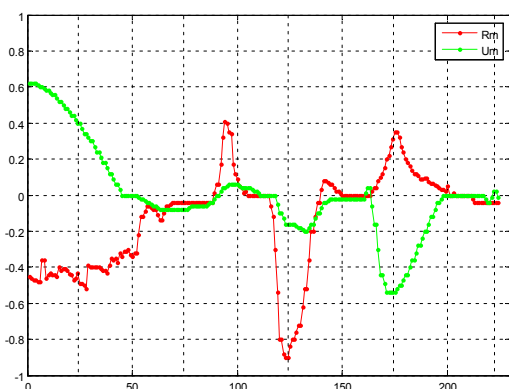


图 6 实验 2 变量 U_m 和 R_m 曲线

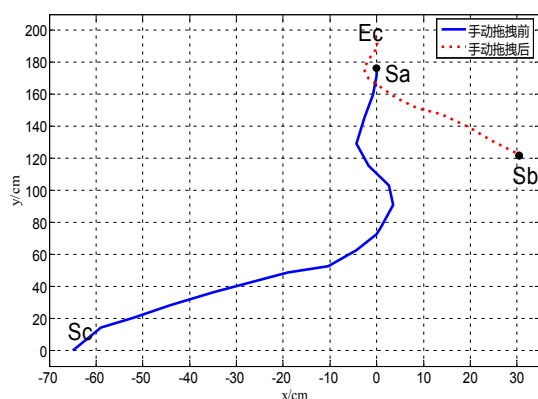


图 7 实验 2 子机器人运动轨迹

结论

本文设计了一种基于母机器人视觉指引的子机器人回收方法,基于子机器人上贴有的上下排布的双色色标,母机器人视觉获取子机器人在视景中的方位,左或右侧色标占色标整体投影长度比例等信息,进而实现对子机器人的指引实现对子机器人的回收。实验证明了该方法的有效性和抗干扰能力。

参考文献

- [1] 谭民,王硕,曹志强.多机器人系统[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [2] M. Lindemuth, R. R. Murphy, E. Steimle, et al. Sea Robot-Assisted Inspection[J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2011,18(2):96-107.

- [3] H. Hourani, P. Wolters, et al. A Marsupial Relationship in Robotics: A Survey[C]// International Conference on Intelligent Robotics and Applications. Aachen: Springer, 2011: 335-345.
- [4] R. R. Murphy, M. Ausmus, et al. Marsupial-like mobile robot societies[C]// International Conference on Autonomous Agents. Seattle: ACM, 1999:364-365.
- [5] M. O. Anderson, M. D. McKay, et al. Multirobot Automated Indoor Floor Characterization Team[C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation. Minneapolis: IEEE, 1996: 1750-1753.
- [6] R. R. Murphy. Marsupial and shape-shifting robots for urban search and rescue[J]. IEEE Intelligent Systems and Their Applications, 2000,15(2):14-19.
- [7] E. Kadioglu, N. Papanikolopoulos. A method for transporting a team of miniature robots[C]// IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Las Vegas: 2003: 2297-2302.
- [8] F. Dellaert, T. Balch, M. Kaess. The Georgia Tech Yellow Jackets: A marsupial team for urban search and rescue[DB/OL]. <https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/38673/Dellaert02usar.pdf?sequence=1>.
- [9] B. W. Minten, R. Murphy, et al. Low-order-complexity vision-based docking[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation. 2001, 17(6):922-930
- [10] A. Drenner, M. Janssen, A. Kottas, et al. Coordination and Longevity in Multi-Robot Teams Involving Miniature Robots[J]. Intelligent and Robotic Systems, 2013, DOI 10.1007/s10846-013-9830-x.

赵鹏 Tel:18811591725 E-mail: peng.zhao@ia.ac.cn