

## 嵌入式单目机器人视觉检测及避障系统设计

魏 玮, 吴冠杰

(河北工业大学 计算机科学与软件学院, 天津 300401)

**摘要:** 为实现机器人在移动中快速检测和避开障碍物功能, 提出一种在室内以单目视觉为基础的嵌入式机器人检测障碍和避障的设计方案; 通过对 HSI 颜色空间的 H 空间进行分块, 获取分块区的颜色矩特征进行比较, 能快速检测障碍物; 通过几何法建立机器人坐标和图像坐标的关系, 计算障碍物实际距离, 准确定位障碍物; 通过输入障碍物距离和偏离前进方向的角度到模糊控制器, 获得输出转动角度, 并对输出的角度进行调节; 实验结果表明该系统具有实时性和可行性, 实现了利用图像分块的信息快速检测定位障碍物, 并通过模糊控制器完成了避障要求。

**关键词:** 嵌入式; 单目视觉; 障碍物检测; 测距; 模糊控制

## Design of Embedded on—Monocular Vision Detection and Obstacle Avoidance system of Robot

Wei Wei, Wu Guanjie

(School of Computer Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

**Abstract:** To realize the function of obstacle detection and avoidance on the robot moving fastly, embedded system design scheme of obstacle localization and avoidance based on monocular vision robot is proposed. With H space of the HSI space divided into three blocks, color moment features of these blocks are compared to detect obstacles. In order to locate obstacles correctly and measure distance between obstacles and the robot, a relationship between the robot coordinates and the vision coordinates is deduced by geometrical reasoning. To quickly avoid obstacles, the output rotation angle is obtained by fuzzy controller which can receive the obstacle distance and deviation angle to the original direction. The experimental results show that the system is real-time and feasible, and this system realizes the fast detection, localization with the image information and meets avoidance of obstacle through the fuzzy controller.

**Keywords:** embedded system; monocular vision; obstacle detection; measurement; fuzzy control

## 0 引言

自主机器人是一个集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等多种功能于一体的综合系统<sup>[1]</sup>。其能够实现自主的前提是利用传感器获取关于环境的信息并感知周围的环境。用于机器人的传感器种类很多, 激光、超声、视觉等传感器是自主机器人<sup>[2-4]</sup>研究中常见的传感器, 但视觉传感器能够获得信息更多、更丰富, 成为研究热点。在研究过程中可以通过机器视觉获得图像, 并利用图像处理技术提取图像中 useful 信息, 使机器人能自主完成一系列动作。对该项研究, 可以进一步提升相关技术的水准, 对生产、生活、科研度具有重要的实际应用意义和学术价值。本文旨在设计一种在室内环境下能具有视觉感知能力的嵌入式单目机器人, 能在自主行进中对所处环境及作业空间的障碍物进行有效检测, 确定障碍物距离, 并能准确而迅速避开障碍物。

## 1 机器人系统框架

本文设计的单目视觉机器人主体硬件方面采用 ARM11 S3C6410 微处理器为核心的 Real6410 开发板, 该开发板有 256 MB DDR 和 1GB NAND Flash, 可运行在 800 MHz 主频, 具有视频处理、二维图形显示和缩放等硬件加速功能<sup>[5]</sup>。对图像的

采集使用的是符合 USB Video Class 规范的环宇飞扬的 usb 摄像头, 对直流电机的控制采用两块大功率驱动器 BTS7900。软件方面采用开源 u-boot-2013.01.01 作为开发板启动软件, 使用 linux-3.4.2 作为内核, busybox-1.7 交叉编译作为根文件系统, 移植 Qt4.7 作为图像界面显示, 图像处理使用 Opencv2.3 和图像依赖相关的开源软件。对开源软件的使用遵循开源协议, 不涉及版权问题, 方便开发。在宿主机交叉编译容易移植到开发板, 能有效缩短开发周期, 提高开发效率。

以上硬件与软件共同组成了机器人的各个功能模块, 而模块之间功能组合可以使机器人能检测障碍物、定位障碍物、躲避障碍物。机器人的主要功能模块如图 1 所示。

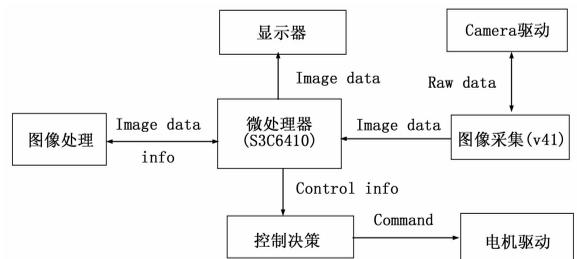


图 1 机器人功能模块图

图像采集模块采集图像时, 使用 linux 内核提供的符合 usb video class 通用摄像头驱动程序, 通过内核提供 video for linux 2 接口, 获取数据图像数据, 其分辨率为 320×240。使

收稿日期:2014-04-10; 修回日期:2014-05-12。

作者简介:魏 玮(1960-),男,山东曲阜人,博士,教授,主要从事模式识别与图像处理方向的研究。

用 mmap 函数在用户空间和内核空间形成映射, 加快图像数据处理速度。获得图像数据由 YUYV 空间转换为 RGB 空间, 为显示器提供数据。图像处理模块对图像进行处理, 把图像数据转换成 Opencv 中可以处理的 IplImage 数据, 初步对图像进行分析, 确定有障碍物后, 计算其偏离机器人前进方向的角度和障碍物之间的距离。将得到的角度和距离传输给控制决策模块, 输入到模糊控制器<sup>[6]</sup>得到输出的转动角度。再将转动角度提交给内核的电机驱动程序, 控制转换出一系列动作的输出。电机驱动程序采用字符设备驱动框架编写, 采用差动控制。

## 2 软件设计

本文提出的算法包括障碍物的检测、单目视觉测量和控制决策三部分。在室内中的地面一般都为统一的一种颜色, 而障碍物颜色经常与实验室地面的颜色不同, 可以利用这点对障碍物检测。但为完成此功能, 还要对室内环境做适当假设, 设机器人开始位置没有障碍物, 室内光照较均匀, 障碍物与地面的交界处图像能够清晰可见。在多障碍物时, 优先选择距离机器人最近的障碍物避障。软件算法的流程如图 2 所示。

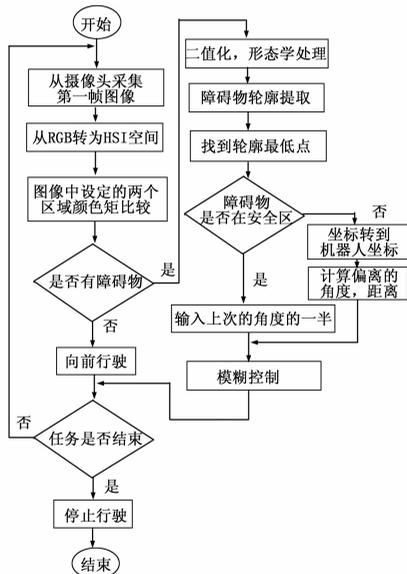


图 2 算法流程图

### 2.1 障碍物检测

机器人在前进过程中, 由流程图可知对拍摄一帧的彩色图像检测。当确定有障碍物时, 对障碍物进行提取, 并获取相关信息。但获取的图像为 RGB 格式, 这三个空间分量颜色特征高度相关需空间转换。而 HSI 模型的建立基于两个重要的事实, I 分量与图像彩色信息无关; H 和 S 分量与人感受颜色的方式是紧密相连的。而 S 分量在光照强度较小时, 噪声比较严重。这些特点使得 HSI 模型分量非常适合彩色特性检测, 在此空间进行图像处理的算法受光照的影响大大减小, 为正确的从环境中检测障碍物提供保障, 因此要把图像进行空间转换。本设计对图像区域划分如图 3 (a) 所示。分为 3 个区当前区 C、安全区 V、参考区 R。在 H 通道对 C 区和 R 区进行颜色矩比较, 检测障碍物。对于 V 区是中间过渡区, 防止障碍物进入 R 区域影响检测。

检测障碍物公式如下:



(a) 分区图 (b) 障碍物轮廓图分区图  
图 3 障碍物示意图

$$t_1 = \frac{1}{N} \sum_i^{N-1} p_i \quad (1)$$

$$t_2 = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_i^{N-1} (p_i - t_1)^2\right)} \quad (2)$$

$$t_3 = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{N} \sum_i^{N-1} (p_i - t_1)^3\right)} \quad (3)$$

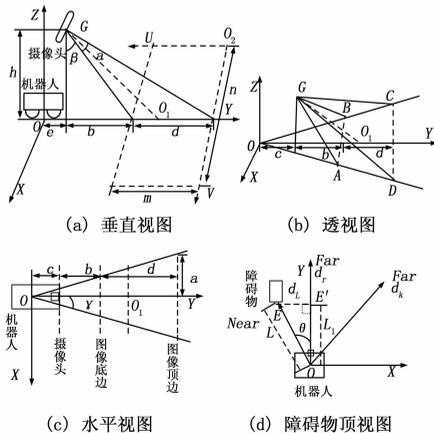
一帧图像的 C 区和 R 区的颜色矩特征值归一化比较的公式如下:

$$\sum_{n=1}^3 \left| \frac{1}{t_n^C} - \frac{1}{t_n^R} \right| = I(C,R) \quad (4)$$

其中:  $N$  对应  $C$  和  $R$  区像素个数,  $P_i$  为像素值,  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$  分别一阶矩、二阶矩、三阶矩,  $I(C,R)$  为比较的结果值。通过设定阈值  $I_0$  和结果值比较能有效检测障碍。阈值的设定与  $C$  和  $R$  区大小  $w_0 \times h_0$  有关, 通过尝试实验的方法可以获得较优窗口。经过中值滤波、二值化后、膨胀和腐蚀, 去掉其中面积较小的区域, 提取障碍物轮廓, 由下往上扫描找到轮廓值的最低点, 如图 3 (b) 所示。

### 2.2 障碍物定位

固定在机器人上的摄像头以一定的俯仰角俯视地面, 视野范围不能太大, 影响障碍物的提取。文献 [7] 采用摄像机标定法, 本设计采用几何推导法, 推导出图像坐标与机器人坐标关系, 如图 4 所示。



(c) 水平视图 (d) 障碍物顶视图  
图 4 机器人与障碍物位置关系示意图

XYZ 为机器人坐标系,  $VO_2U$  为图像坐标系,  $\beta$  为俯视角,  $\alpha$  为垂直视场角,  $2\gamma$  为水平角。 $\theta$  为障碍物与机器人前进方向夹角,  $h$  为摄像头高度,  $b$  为盲区距离,  $d$  为视野宽度,  $2a$  为最宽视野长度,  $m \times n$  为分辨率,  $c$  为摄像头水平方向到机器人坐标原点距离。在机器人坐标系通过图 4 (b) 中  $AD$  和  $BC$  边延长线焦点为坐标原点, 机器人以前进方向  $Y$  轴建立机器人坐标系。  $O_1$  光轴与地面焦点。  $a, b, c, d, h$  通过直接测

量得到。从图 4 可以得到主要几何关系:

$$\begin{cases} \tan\beta = b/h \\ \tan(\alpha + \beta) = (b + d)/h \\ \tan\gamma = a/(c + b + d) \\ \cos\theta = L_1/L \end{cases} \quad (5)$$

图 4 (d) 是图 3 (b) 的顶视图, 通过建立机器人坐标和图像坐标关系, 可以计算出障碍物到机器人坐标系原点的距离  $L$  和夹角  $\theta$ , 其中障碍物 E 轮廓最低点图像坐标为  $(v, u)$ , 机器人坐标为  $(x, y)$ ,  $E'$  为  $E$  在机器人坐标系中  $Y$  轴投影点。公式如下:

$$\begin{cases} y = h\tan(\beta + \alpha(m - 1 - u)/(m - 1)) + c \\ x = y\tan(\gamma(2v - n + 1)/(n - 1)) \\ L = \sqrt{x^2 + y^2} \end{cases} \quad (6)$$

计算出的  $x$  值有正负之分, 图像中障碍物与实际场景障碍物位置相反, 本文对采集的图像进行说明。

### 2.3 决策控制

控制决策主要结合模糊控制方法。如图 4 (d) 在视野范围内分为: 正前方、左前方、右前方。dF, dL, dR 障碍物与机器人之间的距离, dF, dL, dR,  $\theta$  作为输入, 从而推出输出转动角  $\phi$ 。将距离的模糊变量语言定义为  $\{Near, Far\}$ , 输入变量  $\theta$  和输出变量  $\phi$  的范围  $-30^\circ \sim 30^\circ$ , 论域划为  $\{LB, LS, Z, RS, RB\}$ 。变量  $\theta$  和  $\phi$  的隶属度函数如图 5 (a), dF, dL, dR 隶属函数如图 5 (b)。

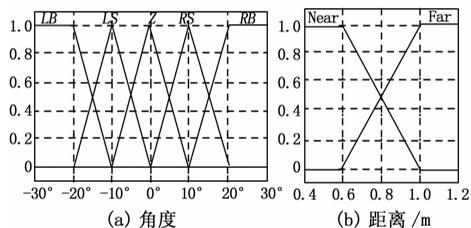


图 5 隶属度关系图

通过室内试验, 归纳和综合得到控制规则。这种规则反应了从输入变量到输出变量的两个模糊矩阵关系。避障的基本原则为障碍物在机器人左(右)前时, 则机器人右(左)转。根据图 4 (d) 建立规则如表 1。根据每种障碍物的分布可能总共需要构造 40 条规则。再根据模糊关系矩阵获得输出  $\phi$ 。

表 1 规则表

Rules	dL	dF	dR	$\theta$	$\phi$
R1	Near	Far	Far	LB	RS
R2	Near	Far	Far	LS	RB
R3	Near	Far	Far	Z	Z
R4	Near	Far	Far	RB	Z
R5	Near	Far	Far	RS	Z

根据算法流程图 2 调整得到的输出角度  $\phi$ , 得到真正的输出角度, 并控制机器人发出动作。

### 3 实验结果

本设计以开发板, 电机驱动器, 摄像头作为硬件主体, 通过开源代码和设计的算法组成软件基础, 共同构成机器人系统。软件程序在宿主机交叉编译、优化、移植到开发板。为防止机器人运动速度过快, 使图像产生尾影或来不及处理, 在多次试验后, 根据开发板上图像平均的处理时间为 257.3 ms, 协调后

恒定的机器人前进速度  $v$  为 19.52 cm/s 和输出旋转角速度  $\omega$  为 13.7/11 rad/s。由图 4 设置实验参数,  $2a$  最宽视野长度为 110 cm,  $b$  盲区距离为 44 cm,  $c$  摄像头水平方向到机器人坐标原点距离为 12 cm,  $d$  视野宽度为 105 cm,  $w_0, xh_0$  当前区和参考区的窗口大小为 320x30,  $h$  摄像头高度为 47 cm,  $I_0$  阈值为 0.100。避障过程中图 6 (a) 为机器人前进的初始位置, 图 6 (b) 为机器人遇到第一个障碍物根据设计的算法避障后的示意图, 图 6 (c) 为根据算法躲避第二个障碍物示意图, 图 6 (d) 为通过障碍物群后位置图。从图 6 实验结果可以看出, 在该嵌入式平台下, 机器人在行进中能够检测障碍物, 确定障碍物的位置, 快速躲避障碍物, 并能无碰撞的穿过障碍物群。结果表明: 该设计具有可行性, 实时性, 并具有一定参考价值。

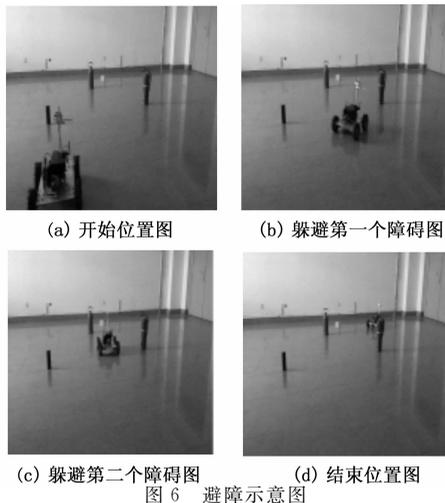


图 6 避障示意图

### 4 结论

本文设计了一种基于视觉的单目嵌入式机器人平台, 以 Real6410 为主体, 结合本文设计的软件, 并在室内环境对其进行验证。提出了在一帧图像划分三个区域, 利用颜色矩在颜色模型 HSI 中  $H$  通道的当前区和参考区进行障碍物的快速检测; 利用几何推导法确定机器人坐标与图像坐标转换关系, 计算出来距离和角度; 再将计算出来距离和角度输入模糊控制控制, 经过调节得到输出角, 并传到驱动程序, 完成避障。在室内环境下可以迅速做出反应, 实现了利用视觉信息检测定位障碍物, 满足了实时避障要求。

#### 参考文献:

[1] 王鸿鹏, 杨 云, 刘景泰. 高速移动机器人的研究现状与发展趋势 [J]. 自动化与仪表, 2011, (12): 1-4.

[2] 袁 夏, 赵春霞. 一种应用于机器人导航的激光点云聚类算法 [J]. 机器人, 2011, 33 (1): 90-96.

[3] 华 亮, 冯 浩, 顾鞠平, 等. 基于超声波传感器的移动机器人沿墙导航策略 [J]. 工程设计学报, 2008, 15 (3): 206-211.

[4] 江 杰, 李 强. 嵌入式移动机器人视觉定位及地图构建系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (9): 2497-2500.

[5] 江俊杰, 王志明, 赵 勇. 基于 X264 的嵌入式视频监控系统设计 [J]. 计算机工程与设计, 2013, 34 (12): 4199-4203.

[6] Yan R C, Wang H, Yang Y Z, et al. Monocular Vision Navigation and Control of Mobile Robot [J]. AASRI Procedia, 2012, (3): 707-714.

[7] 于乃功, 黄 灿, 林 佳. 基于单目视觉的机器人目标定位测距方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (10): 2654-2657.