

基于主动式全景视觉的移动机器人障碍物检测

汤一平 姜荣剑 林璐璐

(浙江工业大学信息工程学院 杭州 310023)

摘要 针对现有的移动机器人视觉系统计算资源消耗大、实时性能欠佳、检测范围受限等问题,提出一种基于主动式全景视觉传感器(AODVS)的移动机器人障碍物检测方法。首先,将单视点的全方位视觉传感器(ODVS)和由配置在 1 个平面上的 4 个红色线激光组合而成的面激光发生器进行集成,通过主动全景视觉对移动机器人周边障碍物进行检测;其次,移动机器人中的全景智能感知模块根据面激光发生器投射到周边障碍物上的激光信息,通过视觉处理方法解析出移动机器人周边障碍物的距离和方位等信息;最后,基于上述信息采用一种全方位避障策略,实现移动机器人的快速避障。实验结果表明,基于 AODVS 的障碍物检测方法能在实现快速高效避障的同时,降低对移动机器人的计算资源的要求。

关键词 主动式全景视觉传感器(AODVS),激光提取,障碍物检测,全方位避障策略

中图分类号 TP242.6 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.3.059

Obstacle Detection Method for Mobile Robot Using Active Omnidirectional Vision Sensor

TANG Yi-ping JIANG Rong-jian LIN Lu-lu

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract To solve the problems of excessive consumption of computing resource, poor real-time performance and limited detection range of current mobile robot vision system, a fast and efficient obstacle detection method was proposed in this paper based on active omnidirectional vision sensor (AODVS). AODVS integrates ODVS with single view point and a planar laser generator composed by four red liner laser that installed on the same plane. All obstacles around the mobile robot can be detected in real time by AODVS. According to laser information on the surrounding obstacles projected by planar laser generator, the obstacles distance and direction information are obtained with robot vision method. Then, based on this information, the direction of movement and speed of the mobile robot are controlled adopting omnidirectional mobile robot obstacle avoidance algorithm. The experiment results show that the obstacle detection method based on AODVS can achieve the goals of avoiding the obstacles quickly and accurately and reducing the requirement of computing resource for the mobile robot.

Keywords Active omnidirectional vision sensor(AODVS), Laser extraction, Obstacle detection, Omnidirectional obstacle avoiding strategy

移动机器人的避障方法研究一直是机器人研究领域的热点。在移动机器人的避障运动中,障碍物的检测是一个很重要的任务,是否能快速和准确地检测障碍物将严重影响移动机器人的避障效果。在这方面,国内外研究人员做了大量研究。文献[1]采用了超声波传感器作为障碍物检测的传感器,文献[2]采用了雷达检测障碍物,文献[3]采用了激光测距仪来检测障碍物。超声波传感器价格低廉,但是存在着易产生虚假和多重反射回波信号并且角分辨率低等问题,激光测距仪和雷达的分辨率要好一些,但是更复杂并且很昂贵^[4]。近几年来,由于计算机图像处理能力和技术的飞速发展以及大量的数字图像处理设备性价比的提高,加之视觉系统具有信号探测范围宽、目标信息完整等优势,视觉传感器在移动机器人导航中的应用越来越受到人们的重视并表现出很好的发

展前景^[5]。

视觉传感器系统可分为单目视觉系统、双目立体视觉系统、全方位视觉系统。单目视觉系统一般采用基于特征和基于运动的方法来检测障碍物。文献[6]基于单目视觉特征研究了机器人的拓扑定位,提出一种融合了颜色信息和局部纹理信息的 Hue-SIFT 特征描述算法,该算法提高了空间物体识别的鲁棒性。文献[7]使用颜色特征计算每一个像素点,将与地面颜色特征不同的像素点划分为障碍。文献[8]基于边缘特征来检测障碍物,通过边缘检测算子检测出障碍物的边缘特征,然后通过图像处理技术去除噪声,最后得到封闭边缘即为障碍物。文献[9]提出一种基于特征点道路面投影位移矢量的障碍物检测方法,通过预计矢量和实际矢量的对比来划定障碍物,具有较好的适应性。基于特征的方法的优点是

到稿日期:2014-05-07 返修日期:2014-07-15 本文受国家自然科学基金项目(61379078)资助。

汤一平(1958—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为全方位视觉传感器应用、计算机视觉和物联网技术,E-mail:typ@zjut.edu.cn;姜荣剑(1989—),男,硕士生,主要研究方向为计算机视觉、智能视频分析;林璐璐(1990—),女,硕士生,主要研究方向为计算机视觉、智能视频分析。

可以检测出一般基于范围的传感器所检测不出的小型障碍物或较平坦的障碍物,但是它需要获取先验特征,并且该方法无法获取较准确的障碍物距离信息。双目立体视觉系统可以获取障碍物的三维信息,但是存在着计算量大等不足。文献[10]采用双目立体视觉技术实现对多种农田障碍物的检测,具有较高的检测精度,但是计算过程复杂。文献[11]通过双目立体视觉系统获取视差图后,使用V-视差图进行障碍物检测,摒弃了地面平坦这一假设,采用最大局部能量的方法从V-视差图中提取主要地面视差(MGD),通过比较视差和MGD可以检测潜在的障碍物。V-视差法虽然对道路环境要求不高,但是它仍然基于视差来计算,需要进行复杂的立体匹配运算,计算量大,并且存在场景图片上匹配点的不确定性问题。由于全方位视觉系统可以获取360°的视场,因此近年来常被用于移动机器人导航领域。文献[12]基于全方位视觉系统采用光流法检测机器人四周的动态障碍物。文献[13]采用全方位立体视觉系统实现对障碍物的检测和跟踪,同样存在着上述双目立体视觉的问题。

应用于移动机器人避障运动中的障碍物检测通常需要考虑3个问题:一个是障碍物定位的准确性,一个是计算量的大小即实时性问题,另一个是视场范围。解决第三个问题可以采用基于全景视觉的解决方案。对于第一个和第二个问题,一种有效的方法是采用主动式视觉测量技术。文献[14]采用结构光感知技术进行障碍物的检测。结构光法测量三维物体是将特定光条投影到被测物表面,通过物体表面高低起伏所引起的光条畸变来抽取物体的三维信息。Boyu W等人根据图像处理算法检测每帧线结构光的变化,与标准图像进行比较得出是否有障碍物的结论,并且计算出障碍物的特征值。目前结构光方式的研究方向主要是物体上畸变光条和投影光条的互相匹配。例如通过投影光条的颜色、编码、强度、宽度等信息来进行匹配和识别处理。近几年也有很多研究人员采用微软开发的kinect传感器来进行障碍物检测,kinect采用类似结构光技术的光编码技术实现障碍物深度信息的获取[15],但是kinect在机器人领域的使用中也存在一些不足,比如视场范围小,机器人只能观察到它前面的信息,而机器人也可能与侧面或者后面的动态障碍物发生碰撞,因此为了安全性,机器人必须能够对任何方向的障碍物做出响应并及时避障。

针对以上不足,本文提出一种基于全方位视觉传感器的主动式视觉测距的障碍物检测方法及其相应的避障算法,该算法可以同时解决障碍物定位的准确性、实时性以及视场范围小等问题。该方法的主要思想是:通过AODVS实现全方位的快速检测,首先AODVS上的面激光发生器将激光投射在机器人周边障碍物上,由ODVS读取全景图像,再由移动机器人中的全景智能感知模块根据周边障碍物上的激光信息,通过机器人视觉处理方法解析出移动机器人周边障碍物的距离和方位等信息,并根据这些信息通过全方位避障策略控制移动机器人的移动方向与速度,实现移动机器人的快速避障。该方法具有以下几个优点:(1)获取信息量大,能够一次性检测机器人360°范围内的障碍物,有利于实现移动机器人全方位的避障和导航;(2)采用实验室自主研发的具有单视

点特性的主动式全景视觉传感器,可简化坐标变换,减少计算量,降低系统成本;(3)采用主动式视觉方法避开了立体匹配过程,实现了障碍物位置信息的快速探测;(4)根据全方位障碍物检测方法的特点,提出了全方位的避障策略,将机器人可移动方向分为360个候选方向,并根据障碍物信息及目标方向,通过评价函数计算出最优可行方向,实现移动机器人的局部路径规划;(5)本文提出的检测方法属于主动式3D全景视觉,不需要基于地平面假设,因此可以在非结构化环境中运行。

1 基于AODVS的障碍物检测方法

为了减少对视觉行走机器人的计算资源约束、快速完成周边障碍物三维测量、实时获得整个移动机器人四周的障碍物分布情况,本文设计了由单视点的ODVS和面激光发生器构成的AODVS用于移动机器人快速避障的障碍物检测。

1.1 AODVS的构成

AODVS主要由单视点的ODVS和面激光发生器构成。其中ODVS由一个普通摄像头和一个双曲面折反射镜面构成,保持双曲面折反射镜面的光轴与摄像头的光轴在同一轴心线上,关于ODVS的详细设计参考文献[16]。面激光发生器由4个红色线激光发生器构成,4个红色线激光发生器分别安装在机器人平台的前方、后方、左方和右方4个方向上,并且保持4个激光发生器配置在同一水平面上,配合ODVS对机器人周围环境的“观察”。ODVS的中心与关键面激光光源的中心配置在同一根轴心线上。ODVS通过USB接口与移动机器人上的全景智能感知模块相连接,如图1所示。

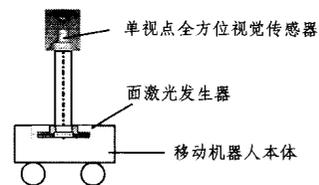


图1 AODVS示意图

1.2 AODVS的标定和障碍物测量方法

AODVS对移动机器人周边的障碍物的测量原理如图2所示。当面激光投射在移动机器人周围的障碍物上时,会在机器人周围的障碍物上形成一圈若干个激光点。图2中以其中一个激光点为例进行说明。

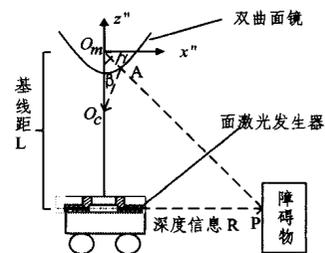


图2 AODVS障碍物测量原理示意图

AODVS上的红色激光发生器发出红色激光投射在障碍物上P点时,光线反射到ODVS中的双曲面折反射镜面上A点处,由于双曲面折反射镜面具有单视点成像特性,三维空间中的所有光线通过双曲面折反射镜成像时都要通过双曲面折

反射镜的焦点,而周围进入双曲面镜中心的光,根据双曲面的镜面特性将向其虚焦点折射。因此通过将摄像头安装于其虚焦点处,光线将由A点反射到摄像头成像平面上。障碍物经双曲面镜反射到聚光透镜中成像时,在该成像平面上的一个点 (x, y) 对应着实物在空间上的一个点 $P(X, Y, Z)$ 。当光线通过双曲面折反射镜面成像时(见图2), γ 表示入射光线与双曲面焦点的水平面的夹角, β 表示入射光线与传感器光轴的夹角,这里定义 β 为入射角:

$$\beta = 90 - |\gamma| \quad (1)$$

通过全方位摄像头的标定参数,可以求出 γ :

$$\tan \gamma = \frac{f(\|u''\|)}{u''} = \frac{a_0 + a_1 \|u''\| + a_2 \|u''\|^2 + \dots + a_N \|u''\|^N}{\|u''\|} \quad (2)$$

式中, $\|u''\|$ 为光线在传感器平面投影点到该平面中心点的距离,函数 f 表征三维空间点和二维平面点之间的关系, a_0, a_1, a_2, a_N 为标定的ODVS的内外参数。由图像平面到传感器平面之间的转换用式(3)表示:

$$u'' = Au' + t \quad (3)$$

式中, $A \in R^{2 \times 2}, t \in R^{2 \times 1}, u''$ 为障碍物点 P 在传感器平面的投影, u' 是其对应的图像平面的像素点,通过式(1)~式(3)可以建立一张成像平面任一像素点与入射角之间的对应关系表。关于ODVS的标定公式的具体推导和实现方法见参考文献[17, 18]。

另外,根据标定参数和式(3),由全方位图像上的像素坐标求出对应传感器平面上点的坐标 $u'' = [u'', v'']^T$ 之后,可以由传感器平面上的坐标求出对应的方位角 α ,如式(4)所示。

$$\alpha = \begin{cases} \arctan(\frac{u''}{v''}), & u'' > 0, v'' > 0 \\ \pi + \arctan(\frac{u''}{v''}), & u'' < 0, v'' > 0 \\ \pi + \arctan(\frac{u''}{v''}), & u'' < 0, v'' < 0 \\ 2\pi + \arctan(\frac{u''}{v''}), & u'' > 0, v'' < 0 \end{cases} \quad (4)$$

将面激光发生器的投射平面相对于机器人中心坐标之间的距离作为主动式全景视觉的基线距 L ,即双曲面镜焦点(全景视觉的视点)到面激光发生器水平面的垂直距离。根据三角关系,由入射角 β 和基线距 L ,可以得到 P 点(障碍物的某一个点)到AODVS视点在水平投影上的距离 R ,如式(5)所示:

$$R = L \times \tan \beta \quad (5)$$

根据由式(4)求出的方位角 α 和式(5)求出的障碍物点的深度信息 R ,可以求出移动机器人周边所有障碍物点在以移动机器人为中心的极坐标系下的坐标 (R, α) 。通过求出所有的激光点对应的障碍物点距离和方位信息可以快速得到机器人周围的障碍物情况。

2 基于AODVS的全方位避障策略

通过AODVS获取移动机器人周围的障碍物情况之后,采用全方位避障策略对障碍物进行避障,该避障策略直接根据AODVS采集到的全景环境信息进行可行性方向评估,选

择一个最优可行方向实现避障,适用于静态障碍物和速度相对于机器人速度较低的动态障碍环境。如图3所示,以移动机器人为中心设置圆形活动窗口将机器人移动方向均匀分为360个候选方向,定义机器人正对方向角为 α_0 ,右偏离角度方向为正,左偏离角度方向为负,绝对值大于 90° 情况表示机器人向后退。同时,进一步根据机器人中心与障碍物距离不同将每个扇面再分割为6层,其中最外层为影响层(第6层),最内层是保护层(第1层),如果障碍物进入该层并处在移动机器人前行方向时,激活反射式行为,直接后退或停止。

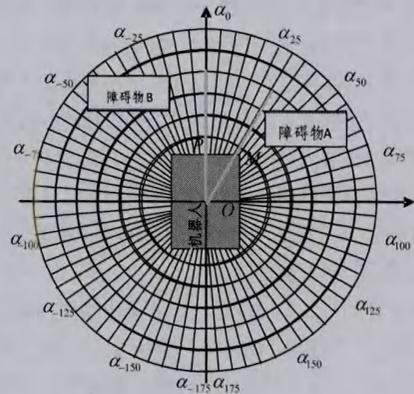


图3 全景图及候选避障方向

当面激光扫描在障碍物上时,障碍物上的每一个激光点在全方位图像上的投影点都对应着全方位避障窗口极坐标系中的一个坐标 (R, α) 。从图3可以看出,AODVS检测到障碍物A的方位角位于 α_{33} ,距离处在第26层之间;障碍物B方位角位于 α_{20} ,距离处在第35层之间。

在移动机器人行走环境中,每个障碍物都会造成一个不可通过区域,由障碍物的左右边界根据式(6)可以求出由此障碍物造成的不可通过区域的左边界和右边界。障碍物的左右边界所在方向的角度用 α_{il} 和 α_{ir} 表示,障碍物左右边界处在层面用 l_l 和 l_r 表示,考虑到移动机器人的自身宽度大小,取 $\eta = \angle POM$,用式(6)计算不可通过区域的左右边界:

$$\begin{cases} \alpha_{i, \min} = \alpha_{il} + l_{il} \times 5^\circ - \eta \\ \alpha_{i, \max} = \alpha_{ir} - l_{ir} \times 5^\circ + \eta \end{cases} \quad (6)$$

综合各个障碍物造成的不可通过区域,由式(7)可以得到移动机器人可行走的候选方向集合:

$$\alpha_i = \{ \alpha_i \mid \alpha_i < \alpha_{k, \min} \}_{k \in \Gamma} \cup \{ \alpha_i \mid \alpha_{k, \max} < \alpha_i < \alpha_{k+1, \min} \}_{k \in \Gamma} \cup \{ \alpha_i \mid \alpha_i > \alpha_{k+1, \max} \}_{k \in \Gamma} \quad (7)$$

式中, Γ 为集合 $[\alpha_{-180}, \alpha_{-179}, \dots, \alpha_0, \dots, \alpha_{178}, \alpha_{179}]$, k 表示障碍物的编号。

为了从机器人可行走的候选方向集合 $\{\alpha_i\}$ 中找出移动机器人下一时刻的最佳方向,设计了各候选方向的评估函数:

$$g(\alpha_i) = \mu_{t1} \times \Delta(\alpha_i, k_g) + \mu_{t2} \times \Delta(\alpha_i, k_r) \quad (8)$$

式中, α_i 表示待评估的方向。 $\Delta(\alpha_i, k_g)$ 表示 α_i 方向与目标方向的夹角, $\Delta(\alpha_i, k_r)$ 表示 α_i 方向和航向的夹角。 μ_{t1} 和 μ_{t2} 分别为目标方向和机器人航向的权值,由实验决定,在本文的实验中 μ_{t1} 和 μ_{t2} 的参考值分别为0.8和0.2。计算每一个候选方向 α_i 的 $g(\alpha_i)$,选取最小值的方向为移动机器人下一个时刻的方向。

3 移动机器人的视觉检测工作流程及相应算法

3.1 机器人视觉系统的工作流程

在系统运行过程中,首先运用 AODVS 获取带有面激光投射情况下的周围环境信息,之后对获取的全方位图像进行激光提取,然后针对提取出的激光点进行障碍物距离信息的计算,再根据激光点的方位角判断障碍物存在于哪个方向,根据其处理结果结合全方位避障策略进行机器人的避障规划,最后依据避障规划实现对机器人运动的相应控制。系统工作的流程框图如图 4 所示。

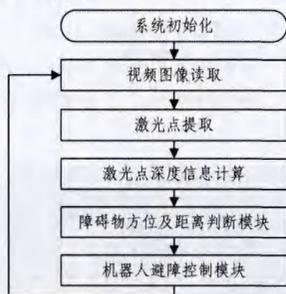


图 4 主动式全景视觉系统工作流程图

从图 4 所示的工作流程图可以看出,本文提出的障碍物检测方法不再需要复杂的立体匹配等步骤,而是通过一种激光提取算法和激光点深度信息计算算法来实现移动机器人周边所有障碍物的全方位检测,从而减少了算法复杂度。

3.2 激光点提取算法

障碍物的检测通过 AODVS 转化为激光点的检测,可以有效减少计算量,通过分析室内光照及激光投影的特点,采用对光照敏感程度较小的 HSI 颜色模型进行激光点的检测。主动全景投影激光提取算法如下:

Step1 获取具有激光信息的全方位图像;

Step2 遍历图像上每一个像素点的 r, g, b 颜色信息;

Step3 将每一个点的 r, g, b 颜色信息转换成 HSI 颜色模型;

Step4 根据每一个像素点的 I 分量,获取全方位图像的总亮度,进而求出全方位图像的平均亮度;

Step5 根据激光投射点亮度比图像平均亮度大的特点,以平均亮度的 1.5 倍作为激光提取的亮度阈值 T ,将每个像素点的 I 值的范围 $I > T$ 作为激光提取的亮度约束条件;

Step6 根据激光颜色色度的特点,本文选取 H 值范围为 $0 < H < 60$ 且 $350 < H < 360$ 作为激光提取的色度约束条件;

Step7 根据激光投影的特点,设置 S 值的范围为 $0 < S < 40$ 作为激光提取的饱和度约束条件;

Step8 当激光点同时满足 Step5、Step6 和 Step7 3 个约束条件时,提取出该激光点,当不满足任一约束条件时,则舍去。同时遍历下一个像素点。若一幅图像全部遍历完成,则转到 Step1,获取下一幅全景图像。

为了提高算法的效率还可以作如下改进:由于激光高度是固定的,因此对应于障碍物的一个距离范围,激光线在全方位图像上的投影有一个相对应的固定范围,为了提高算法的快速性,可以不用遍历整幅图像的像素点,而只遍历一个固定的范围内(影响层内)的像素点,经实验研究发现,激光的范围

一般在入射角为 10° 到 70° 之间。因此将图像遍历范围锁定在入射角范围为 10° 到 70° 之间,可以有效提高算法的效率。

图 5 所示的是本实验采用的激光点提取算法对不同光照和场景下的激光点提取实验效果图。实验中采用的激光发生器的功率为 100mw,障碍物距离为 1.5m。图 5(a)为室外实验结果,实验环境为阴天,实验时段为下午 23 点;图 5(b)、图 5(c)和图 5(d)分别为室内环境中不同光源强度条件下的实验结果。在室外阴天条件下激光发生器投射出的激光线显得相对较弱,几乎被室外光照所掩盖,激光点提取效果较差。在室内环境实验中,均能较好地提取出激光线。图 5(b)、图 5(c)和图 5(d)分别为室内环境中不同时段内的实验结果,表明室内情况下光照的变化对激光线提取影响不大。为了提高室外环境中激光点的提取效果,可以考虑在 ODVS 上配置与投射光源相一致的滤光片。

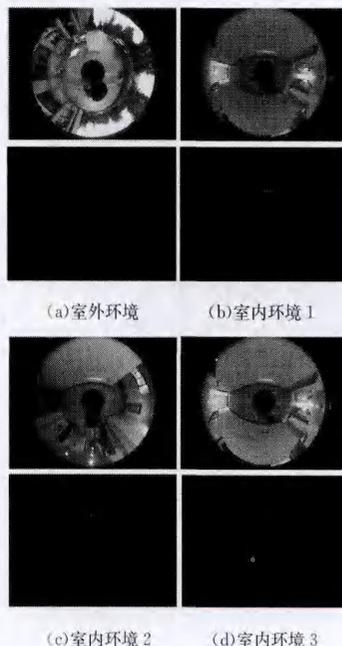


图 5 激光提取效果图

3.3 激光点深度信息计算算法

对于激光点的深度信息计算原理在 1.2 节的全景视觉传感器的标定和障碍物测量方法中已经介绍。具体算法如下:

Step1 获取根据 3.2 节中的激光提取方法提取出的激光点像素坐标;

Step2 根据激光点像素坐标及全景视觉传感器的标定数据由式(1)一式(4)计算入射角和方位角;

Step3 根据激光点的入射角结合全景视觉传感器的基线距 L (实验中基线距设为 84cm),由式(5)计算得到相应障碍物点的距离信息。若尚未完成所有激光点深度计算则转到 Step1,否则结束。

由于受环境光影响,当机器人进入复杂环境时,不可避免地会产生极个别噪声点,而感兴趣区域将集中在影响层内的激光点,这样可以除去极大多数的噪声点干扰;对于在影响层内的噪声点干扰,一般认为是孤立点,通过噪声滤波算法可以去掉孤立点噪声。

为了验证本文采用的障碍物检测方法测量障碍物的精度,对 60.00cm~140.00cm 之间的障碍物进行了标定实验。

实验结果如表 1 所列,实验结果表明,障碍物深度检测误

差都在3%以内,基本上满足了机器人避障的精度要求,而且 通过该方法进行障碍物检测具有较高的实时性及鲁棒性。

表1 主动式全景视觉系统标定的实验结果

实际距离 /cm	测量距离/cm			测量误差/cm			误差比率(%)		
	α_{-90}	α_0	α_{90}	α_{-90}	α_0	α_{90}	α_{-90}	α_0	α_{90}
60.00	59.93	59.94	60.70	-0.07	-0.06	0.70	-0.12	-0.1	1.17
80.00	81.25	79.92	80.43	1.25	-0.08	0.43	1.56	-0.1	0.54
100.00	99.67	98.09	101.06	-0.33	-1.91	1.06	-0.33	-1.91	1.06
120.00	118.91	119.69	122.22	-1.09	-0.31	2.22	-0.91	-0.26	1.85
140.00	143.27	136.19	143.21	3.27	-3.81	3.21	2.34	-2.72	2.29

4 实验研究

本文实验采用的基于主动全景视觉移动机器人如图6所示,移动机器人本体采用了某自动化技术有限公司生产的MT-R机器人。这里本文只利用了该移动机器人中所提供的机器人运动控制接口及相关硬件设备。为了提高移动机器人的适用性,本文对控制接口进行了进一步封装,直接通过转动角度和速度两个参数来实现对机器人的导航和避障行走控制。通过全景视觉障碍物检测结果调用控制接口来实现机器人的前进、左转和右转的角度等避障动作。



图6 基于主动全景视觉的移动机器人

如图6所示,在MT-R机器人上安装了自主研发的AODVS,将ODVS固定在移动机器人中间的上方,以获取移动机器人周边的全景图像;将4个红色线激光发生器固定在移动机器人4个侧面的中部,以投射出在某一个平面上的红色激光面。

障碍物检测和避障控制程序是在Windows XP运行环境下采用Java语言实现的。移动机器人中的计算硬件系统条件是:CPU型号:T2350;主频:1.87Ghz;内存:0.99GB。

为了验证本文提出的避障方法的有效性,我们选择了学校的研究大楼某一楼层作为机器人避障实验环境,在移动机器人行走路径中放置了纸箱和椅子等作为暂时障碍物,规定行走机器人的行走方向及目的地,让机器人从出发点到达目的地进行自主避障行走。

图7所示为机器人避障过程中的视频截图及其对应的全方位图像;图7的上一栏图像是用普通数码相机拍摄的图像,下一栏图像是用移动机器人中的ODVS采集的全景图像。图中所示的障碍物在全景成像图像与透视成像截图相反现象是由ODVS的折反射成像所产生的。实验设计中,让移动机器人向研究大楼某一楼层走廊另一端目标方向移动,第81帧移动机器人开始检测第一个障碍物,如图7(a)所示;第110帧移动机器人开始实施第一个障碍物(椅子)的向右转进行避障,如图7(b)所示;第230帧机器人朝目标方向向左转,如图7(c)所示;第260帧机器人继续直行朝目标方向移动,如图7(d)所示;第400帧时检测到第二个障碍物(另一张椅子),如图7(e)所示;第430帧时对第二个障碍物向右转进行避障,

如图7(f)所示;第570帧机器人对第二个障碍物避障动作完成,如图7(g)所示;接着机器人继续朝目标方向移动,在第790帧时检测到第三个障碍物(纸箱),如图7(h)所示;第890帧向左转对第三个障碍物进行避障,如图7(i)所示;第960帧机器人成功避开了第三个障碍物并保持前行方向,继续朝目标方向移动。

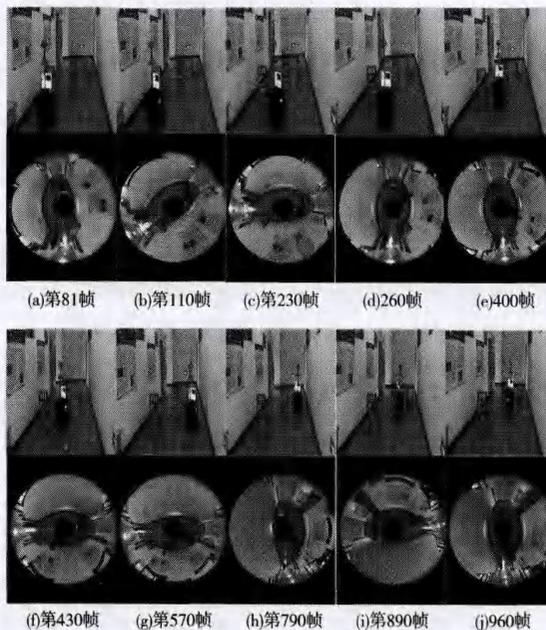


图7 移动机器人避障视频截图

经实验测定,在本文的硬件系统条件下,每帧图像的处理及避障控制时间均小于100ms,基本达到了实时避障的要求。

结束语 基于视觉的移动机器人避障是近年来的研究热点,本文设计了一种基于主动式全景视觉的机器人视觉系统,简化了障碍物视觉检测方法,有效地提高了障碍物检测的实时性和准确性,并且能同时检测以移动机器人为中心的周边全方位的障碍物。实验研究表明,主动式全景视觉的障碍物检测方法满足了行走机器人的高效、实时、准确、全景和鲁棒性需求。

目前本文采用的基于颜色特征的激光提取算法在室外环境下容易受到周围环境条件的影响,还仅限于室内环境中的避障识别,今后将结合图像处理中的一些算法,如边缘检测和光流检测等算法,将主动视觉检测技术和全景视觉感知技术进行融合,以提高避障识别的鲁棒性和环境适应性。对于室外环境,激光线的提取容易受到光照的干扰,可以采用相应波长的滤光片的方式来有效地提取投射激光线。另外,本文提出的避障针对的是某一关键面高度障碍物的检测,但对于悬挂障碍物及低于关键面高度的障碍物,考虑采用以下两种方

(下转第315页)

中的多条船舶跟踪,且能获得较为鲁棒、准确的跟踪。基于本文的实验效果,下一阶段的研究将集中在解决多船舶间相互遮挡及尺度问题等方面。

参考文献

- [1] 张国平. CCTV 视频监控系统中在内河重要河段中的应用[J]. 交通科技, 2012(6):95-97
- [2] 蒋恋华,甘朝晖,蒋旻. 多目标跟踪综述[J]. 计算机系统应用, 2010(12):271-275
- [3] 闫辉,许廷发,吴青青,等. 多特征融合匹配的多目标跟踪[J]. 中国光学, 2013,6(2):163-170
- [4] 万琴,王耀南,袁小芳. 改进联合概率数据关联的视频多目标快速跟踪[J]. 控制理论与应用, 2012,28(10):1421-1430
- [5] Osawa T, Sudo K, Arai H, et al. Monocular 3D tracking of multiple interacting targets[C]//19th International Conference on Pattern Recognition, 2008(ICPR 2008). IEEE, 2008:1-4
- [6] 杨伟,柴奇. 基于 mean-shift 的多目标粒子滤波跟踪算法设计[J]. 航天电子对抗, 2009,25(5):57-60
- [7] 周维,许海霞,郑金华. 基于 RJMCMC 的视觉多目标跟踪算法[J]. 计算机科学, 2012,39(7):270-275
- [8] Duan G, Ai H, Cao S, et al. Group tracking: exploring mutual relations for multiple object tracking [M]. Computer Vision-EC-CV 2012. Springer Berlin Heidelberg, 2012:129-143

(上接第 288 页)

法来解决:1)由于单视点的 ODVS 本身就具备了 2.5 维成像能力,通过融合全景图像中边缘信息和激光投射点信息,对非关键面障碍物的深度进行估计来实现避障;2)采用垂直移动激光面扫描的方式或者采用多传感器融合来解决,当然这样做会增加成本及系统的复杂度。

参考文献

- [1] Chen C Y, Shih B Y, Chou W C, et al. Obstacle avoidance design for a humanoid intelligent robot with ultrasonic sensors [J]. Journal of Vibration and Control, 2011, 17(12):1798-1804
- [2] An Dong, Wang Hong. VPH: a new laser radar based obstacle avoidance method for intelligent mobile robots[C]//Intelligent Control and Automation, 2004. WCICA 2004. Fifth World Congress on. IEEE, 2004, 5:4681-4685
- [3] Surmann H, Lingemann K, Nüchter A, et al. A 3D laser range finder for autonomous mobile robots[C]//Proceedings of the 32nd ISR (International Symposium on Robotics). 2001, 19(21):153-158
- [4] 王东署,王佳. 未知环境中移动机器人环境感知技术研究综述[J]. 机床与液压, 2013,41(15):187-191
- [5] 席志红,原新,许辉. 基于视觉的移动机器人实时避障和导航[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2002,23(5):107-109
- [6] Zhao Zeng-shun, Feng Xiang, Wei Fang, et al. Learning Representative Features for Robot Topological Localization[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2013, 10(215)
- [7] Ulrich I, Nourbakhsh I. Appearance-based obstacle detection with monocular color vision[C]//Proceedings of AAAI/IAAI. 2000:866-871
- [8] Bhoite A, Beke N, Nanduri S, et al. Advanced situational awareness and obstacle detection using a monocular camera[C]//Im-

- [9] Zhang L, Van Der Maaten L. Structure preserving object tracking[C]//2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Portland, OR, 2013:1838-1845
- [10] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]//IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005(CVPR 2005). San Diego, CA, USA, 2005, 1:886-893
- [11] Lin Chun-fu, Wang Sheng-de. Fuzzy Support Vector Machines [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2002, 13(2):464-471
- [12] Tsochantaridis I, Joachims T, Hofmann T, et al. Large margin methods for structured and interdependent output variables[J]. Journal of Machine Learning Research, 2005, 6(9):1453-1484
- [13] Crammer K, Dekel O, Keshet J, et al. Online passive-aggressive algorithms[J]. The Journal of Machine Learning Research, 2006, 7:551-585
- [14] Kalal Z, Mikolajczyk K, Matas J. Face-1d: Tracking-learning-detection applied to faces[C]//2010 17th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). Hong Kong, 2010:3789-3792
- [15] Babenko B, Yang M H, Belongie S. Robust object tracking with online multiple instance learning[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(8):1619-1632

age Processing Workshop (WNYIPW), 2010. IEEE, Western New York, 2010:30-33

- [9] 刘威,于红绯,杨恒,等. 一种新的基于单目视觉的广义障碍物检测方法[J]. 电子学报, 2011,39(8):1793-1799
- [10] 杨福增,刘珊,陈丽萍,等. 基于立体视觉技术的多种农田障碍物检测方法[J]. 农业机械学报, 2012,43(005):168-172
- [11] Cong Yang, Peng Jun-jian, Sun Jing, et al. V-disparity based UGV obstacle detection in rough outdoor terrain[J]. Acta Automatica Sinica, 2010, 36(5):667-673
- [12] Kim J, Suga Y. An omnidirectional vision-based moving obstacle detection in mobile robot[J]. International Journal of Control Automation and Systems, 2007, 5(6):663
- [13] Koyasu H, Miura J, Shirai Y. Real-time omnidirectional stereo for obstacle detection and tracking in dynamic environments[C]//2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2001. IEEE, 2001, 1:31-36
- [14] Boyu W, Junyao G, Li K, et al. Indoor mobile robot obstacle detection based on linear structured light vision system[C]//IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2008. ROBIO 2008. IEEE, 2009:834-839
- [15] 杨林. 基于 Kinect 的人体目标检测与跟踪[D]. 大连:大连海事大学, 2013
- [16] 汤一平,王庆,陈敏智,等. 立体全方位视觉传感器的设计[J]. 仪器仪表学报, 2010,31(7):1520-1527
- [17] Scaramuzza D, Martinelli A, Siegwart R. A toolbox for easily calibrating omnidirectional cameras [C] // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006. IEEE, 2006:5695-5701
- [18] Tang Yi-ping, Wang Qing, Zong Ming-li, et al. Design of vertically aligned binocular omnistereo vision sensor[C]//EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2010:1-24