

文章编号 1004-924X(2015)08-2419-09

复杂室内环境下的单一 Kinect 导盲系统

张克华*, 王书平, 尹晓红, 程光明

(浙江师范大学 精密机械研究所, 浙江 金华 321004)

摘要:针对现有导盲设备存在的检测效果差, 系统复杂, 不便携带等问题, 开发了基于单一 Kinect 传感器的导盲系统。该系统能够同时检测地面和头部之间的所有障碍物, 并将准确的路况信息通过语音传递给用户, 以实现导盲作用。该系统运用深度图像翻转算法和障碍物识别算法来识别地面障碍物、地面坑洞、悬空障碍物 3 种类型的障碍物; 同时运用深度图像过滤算法和障碍物距离计算算法来确定有效范围内障碍物的位置。设计制作了导盲试验样机, 在复杂室内环境多个场景下对障碍物的识别和检测进行了实验测定。实验结果表明, 该导盲系统能够在一定范围内较为准确地识别面积大于 10^{-3} m^2 的障碍物及高度差超过 0.02 m 的坑洞, 经过图像过滤可将用户身高以内, 宽度 1 m 内的障碍物的最佳避障路线通过语音传递给用户, 满足了导盲需求。该系统的应用不仅对导盲具有重要作用, 对机器人自主行走也有参考意义。

关键词:导盲系统; 图像翻转; 像素矩阵; 图像过滤; 深度值

中图分类号: TP29 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152308.2419

Blind navigation aid system with Kinect sensor in complex indoor environments

ZHANG Ke-hua*, WANG Shu-ping, YIN Xiao-hong, CHENG Guang-ming

(Precision Machinery Research Institute, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

* Corresponding author, E-mail: mature@zjnu.edu.cn

Abstract: A blind navigation aid system was designed to improve the poor detection, complex structure and inconvenient to carry for the existing guide equipment. The system could detect all the obstacles between the ground and the user's head, and could deliver accurately the traffic information through a voice prompt to the user, so as to complete the navigation. The depth image rotation algorithm and detection obstacle technology were applied in this system to identify three types of obstacles including ground obstacles, ground pits and hanging obstacles. Meanwhile, the depth image filtering algorithm and obstacle distance calculation were used to determine the position of the obstacle in an effective range. A prototype was developed, and the experiments on the obstacle recognition and obstacle position detection were carried out in various scenes at a laboratory. The experimental results show that the navigation system can accurately identify the obstacle with an area more than 10^{-3} m^2 and the holes with a height difference more than 0.02 m and can determine the best way to avoid the obstacle in an effective range by voice prompt to the user, so as to meet the daily demand to blind navigation. The development of this system and the applications of various algorithms not only have important

收稿日期: 2014-11-19; **修订日期:** 2015-01-04.

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目 (No. 51305406)

effect on the blind navigation, but also have reference significance for the robot walking dependently.

Key words: blind navigation system; image rotation; pixel matrix; image filtering; depth value

1 引言

第六次人口普查和中国第二次残疾人调查资料统计数据显示,截至 2010 年末中国约有 1263 万视力残疾人,其中盲人 500 万,是全世界盲人最多的国家,占全世界盲人总数的 18%^[1-2],因此盲人自主行走一直是备受社会关注的问题。由于视力残疾,盲人无法获得路况信息,利用传统的拐杖也只能简单测定腰部以下的障碍物信息,因此,近年来导盲装置成为研制热点。方仁杰等使用超声波探测障碍物后将路况信息反馈给用户,改善了传统拐杖检测障碍物效果差的问题^[3],不过该设备的探测范围仅局限于地面,不能够测量那些悬空障碍物。Lopes 等提出了一种运用超声波和无线射频识别(RFID)技术的导盲装置^[4]。该装置能够同时检测地面和头部障碍物,即采用超声波检测地面障碍物,利用安装在头部的传感器测头部障碍物,不过由于装置多,不利于安装和携带,并且处理速度慢,探测范围仍无法覆盖全身。

为了将探测障碍物范围扩展到全身,人们已将光学测量等多种技术用于障碍物检测^[5-7]。障碍物检测的关键在于距离测量也就是深度测量,为了进一步提高障碍物检测的效果和距离计算的准确性,新型 Kinect 传感器被用来获取路况深度图像。该传感器基于光编码的结构光测量技术(Light Coding, LC),与传统结构光方法采用三角时差测距不同,它不是通过空间几何关系求解距离,而是采用激光散斑原理。近红外光源投射激光散射到物体表面形成激光散斑,这些散斑具有高度随机性,随着距离的不同会出现不同的图案,在同一空间中任何两个地方的散斑都不相同,根据物体的散斑图案变化就可以计算出物体距离^[8]。Vitor Filipe 和苏仕玮都曾提出用 Kinect 传感器制作导盲系统。其中 Vitor Filipe 等将新型光学 Kinect 放置于腰部,做了一个导盲测试装置,并且运用障碍物识别算法来检测地面障碍物^[9];但是该装置的探测范围局限于地面障碍物,并且不能随身携带。苏仕玮等同样采用 Kinect 传感器制作了导盲系统,该系统采用智能手机处

理 Kinect 传回的图像数据,便于携带;由于运用障碍物识别算法,大大提高了导盲效果^[10]。但是,该系统采用智能手机处理深度数据,处理速度慢并且计算能力有限,致使障碍物的探测精确度下降,无法探测较小障碍物。

为了进一步提高 Kinect 的导盲效果,获得更加符合盲人行走的视角和更近的探测距离,本文运用深度图像翻转算法和距离计算算法来准确判断障碍物的类型和位置,能够识别地面障碍物、地面坑洞、悬挂障碍物并且提供导盲信息给用户,满足盲人自主行走的要求。另外,本系统所采用的图像翻转算法、障碍物识别算法及区域过滤算法对机器人自动行走也具有重要的参考价值。

2 导盲系统的构成及其工作原理

2.1 导盲系统的硬件构成

为了迅速高效采集路况信息,本文使用了 Microsoft Kinect 传感器,该传感器采用结构光技术,能够以 30 frame/s 传回 Kinect 图像处理芯片,反馈速度非常快,能够实时反馈路况信息。另外,利用 Microsoft Kinect SDK 来开发障碍物探测的相关算法,以便充分发挥该传感器的优势。

导盲系统主要由图像采集系统、深度图像处理系统、障碍物识别系统、语音提示系统以及微型主机等组成。图像采集由 Kinect 传感器完成,采集图像包括 RGB 图像和深度图像。深度图像处理系统将传感器采集的深度图像数据流进行图像翻转计算和无效区域过滤。障碍物识别系统检测经过翻转和过滤的深度图像,通过遍历有效区域内每一个像素点来检测出障碍物,然后,

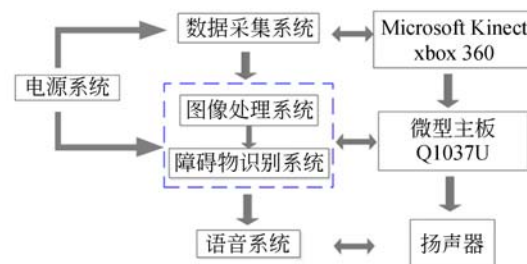


图 1 导盲系统硬件构成图

Fig. 1 Hardware constitution of blind navigation aid system

运用边缘检测算法检测出障碍物的位置。语音提示系统是将障碍物信息、位置及避开方式通过扬声器传给用户,如图 1 所示。

2.2 导盲系统的工作原理

该导盲系统的基本工作原理如下:首先,Kinect 传感器采集路况信息的深度图像,运用翻转算法进行图像翻转;然后,对深度图像无效区域进行过滤;在有效区域内进行障碍物检测和识别,并且确定障碍物位置;最后,将避开障碍物的有效信息通过语音传给用户。该系统示意图如图 2 所示。

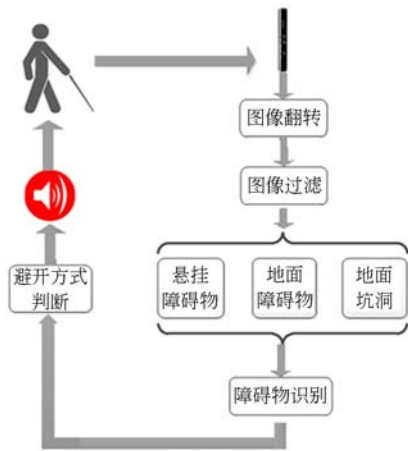


图 2 导盲系统工作原理示意图

Fig. 2 Block diagram of blind aid system

3 导盲系统的关键算法

3.1 图像翻转算法

3.1.1 探测范围和可视视角对比

Kinect 默认可视角度为垂直方向 43° 和水平方向 57° ,经过翻转得到的图像视角是垂直方向 57° 和水平方向 43° ,后者更适合行走的视角,视角变化如图 3 所示。图像翻转之后传感器的可探测范围发生变化,可通过理论计算来对比探测距离变化,如图 4 所示。

在图 4 中, Z_{v_1} , Z_{v_2} 分别是传感器竖直放置、默认状态可探测地面的最近距离; Z_{h_1} , Z_{h_2} 分别是传感器竖直放置、默认状态可探测头部的最近距离; Y_{kh} 是传感器高度; Y_{ph} 是用户高度。根据国家统计局 2013 年统计中国男性平均身高为 1.69 m,女性的平均身高是 1.64 m,因此实验时用户

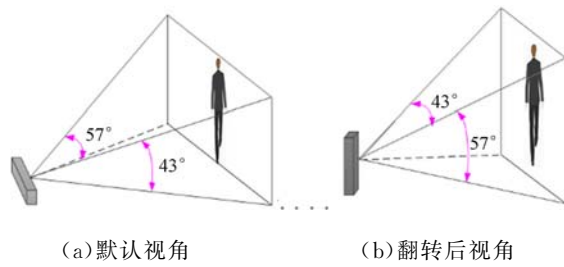


图 3 传感器放置方式对应视角示意图

Fig. 3 Correspondence of detection views to sensor placements

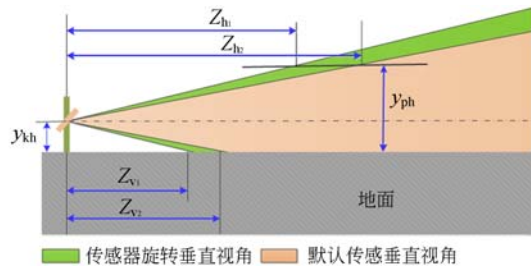


图 4 不同传感器放置方式下探测距离的对比

Fig. 4 Comparison of detection distances in different sensor placements

的身高选为 1.7 m,即 $Y_{ph}=1\ 700$ mm。各参数的计算公式如下:

$$z_{v_1} = \frac{Y_{kh}}{\tan \frac{\alpha}{2}}, \quad (1)$$

$$z_{v_2} = \frac{Y_{kh}}{\tan \frac{\beta}{2}}, \quad (2)$$

$$z_{h_1} = \frac{Y_{ph} - Y_{kh}}{\tan \frac{\alpha}{2}}, \quad (3)$$

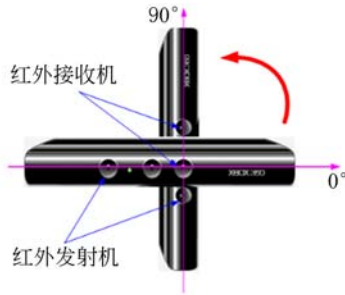
$$z_{h_2} = \frac{Y_{ph} - Y_{kh}}{\tan \frac{\beta}{2}}, \quad (4)$$

式中: $\alpha=57^\circ$ 、 $\beta=43^\circ$ 分别是传感器竖直放置和传感器水平放置的垂直视角。计算得到 $Z_{h_1}=1\ 105$ mm, $Z_{h_2}=1\ 523$ mm,说明竖直放置时可探测地面的最小距离比水平放置小,可探测地面范围更符合行走要求; $Z_{v_1}=2\ 025$ mm, $Z_{v_2}=2\ 792$ mm,说明竖直放置时可探测头部的最小距离比水平放置小,更有利于探测头部障碍物。

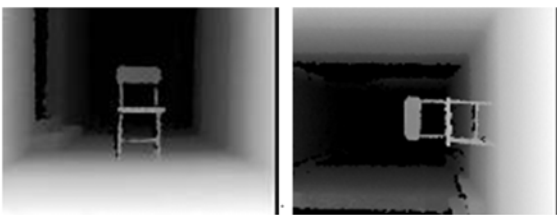
3.1.2 图像翻转深度值计算

为了获得最佳的行走视角,将 Kinect 传感器逆时针旋转 90° 。在官方开发平台 Microsoft Ki-

nect SDK 中传感器默认是水平放置的,则深度图像发生变化,如图 5 所示。



(a) 传感器旋转图
(a) Sensor rotating image

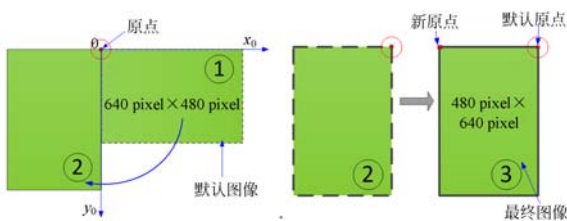


(b) 原始图像 (c) 旋转后的图像
(b) Origin image (c) Rotating image of (b)

图 5 传感器旋转效果图

Fig. 5 Depth images as sensor rotating

翻转前后图像依旧是 640 pixel×480 pixel, 输出的是 Kinect 深度图像默认的像素,要想有效地显示 480 pixel×640 pixel,在 Microsoft Kinect SDK 中运用图像旋转函数 rotateZ() 和 translate() 进行翻转,过程如图 6 所示。



(a) 图像旋转示意图 (b) 平移示意图
(a) Image rotation (b) Image translation

图 6 深度图翻转示意图

Fig. 6 Depth image transformation

在 Microsoft Kinect SDK 中深度值的计算公式为:

$$depthValue = x + y \times 640, \quad (5)$$

其中: x, y 分别是深度图像中像素点的纵横坐标。翻转后的图像像素为 480 pixel×640 pixel。由于 Kinect 传感器不是采用几何关系,而是采用 LC

技术求解测量深度的,因此式(5)无法计算出深度值。翻转后的像素坐标必须对应翻转之前的像素坐标,通过几何旋转函数公式推出旋转前后坐标的对应关系, x, y, z 轴的旋转公式分别为:

$$x = x_0 \cos \alpha - y_0 \sin \alpha, \quad (6)$$

$$y = x_0 \sin \alpha + y_0 \cos \alpha, \quad (7)$$

$$z = z_0, \quad (8)$$

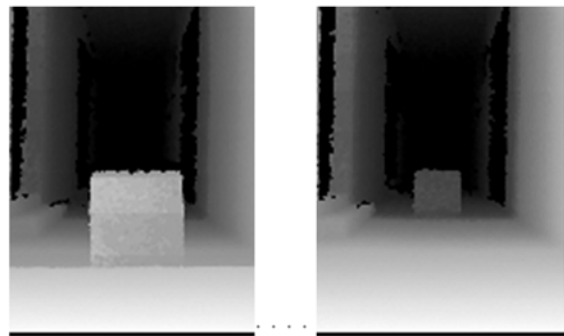
其中: α 为旋转角度, x, y, z 为翻转后图像的像素坐标值, x_0, y_0, z_0 为旋转前图像的像素坐标值。然后向右平移 480 pixel,得到:

$$x = 480 - y_0, y = x_0, z = z_0. \quad (9)$$

将式(9)代入式(5)中即可得到:

$$depthValue = y + (480 - x) \times 640. \quad (10)$$

将标记好的实验样板分别放在 9 个不同位置,实验的深度图像如图 5 所示,然后,在 Microsoft Kinect SDK 运用式(6)进行测量。每个位置测量 10 次取平均数,实验数据如表 1 所示。



(a) 1 500 mm (b) 3 500 mm

图 7 深度值测试实验深度图

Fig. 7 Images from depth value test

表 1 公式测定结果

Tab. 1 Results of depth value test

| 测量次数 | 样板实际位置/mm | 测量结果/mm | 误差百分比 |
|------|-----------|---------|-------|
| 1 | 1 200 | 1 198 | 0.16% |
| 2 | 1 500 | 1 505 | 0.33% |
| 3 | 1 800 | 1 806 | 0.33% |
| 4 | 2 100 | 2 114 | 0.67% |
| 5 | 2 400 | 2 418 | 0.75% |
| 6 | 2 700 | 2 685 | 0.57% |
| 7 | 3 000 | 3 021 | 0.70% |
| 8 | 3 300 | 3 274 | 0.79% |
| 9 | 3 500 | 3 464 | 1.03% |

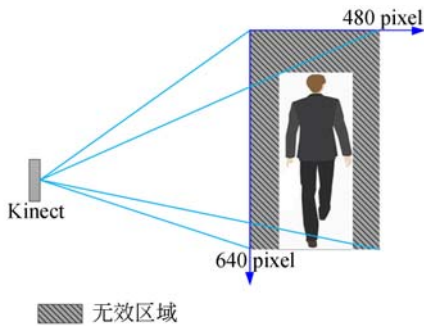
实验结果显示测量深度值的准确率一般能达到 98% 以上。考虑到结构光测量存在误差,实验

测得公式(6)与理论推算均满足导盲要求。

3.2 图像过滤算法

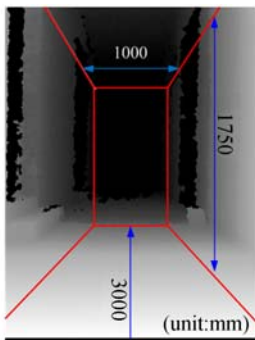
盲人行走时提示的精确性最为重要,在 Kinect 视角中有一部分障碍物不会对行走构成干扰,因此这一部分障碍物的警示会干扰盲人行走。为了使系统更加精准、高效,必须过滤掉这部分区域,过滤如图 8 所示。本文采用边缘检测算法来检测障碍物外部轮廓在深度图像的像素坐标,然后采用图像过滤算法进行区域判断,最后过滤掉无效区域。

过滤的具体计算依据国际盲道宽度的标准,盲道宽度为 30~60 cm。为了更加方便盲人行走,该系统取 1 m 作为安全宽度,即在该范围出现障碍物系统才会进行识别和提示;而本系统的探测距离选择为 3 m,即只有在 3 m 之内出现障碍物才会被识别和提示。



(a) 无效区域示意图

(a) Scheme of invalid region



(b) 无效区域过滤原理图

(b) Principle of invalid region filtration

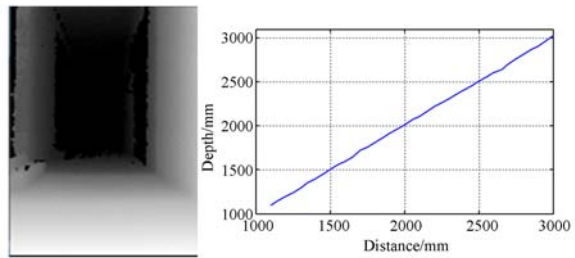
图 8 无效区域过滤

Fig. 8 Invalid region filtration

3.3 障碍物识别算法

该算法是通过分析路况深度图像的深度值变

化来识别障碍物,有 3 种障碍物类型会被识别,它们分别是地面障碍物,地面坑洞,悬挂障碍物,可将它们归结为外凸式障碍和坑洞。障碍物识别参照文献[9]所采取的认识障碍物方法,其原理是利用路况环境的深度值与无障碍物深度值之差的变化来比对识别障碍物类型,深度值变化与实际距离的关系如图 9 和图 10 所示。



(a) 无障碍物深度图

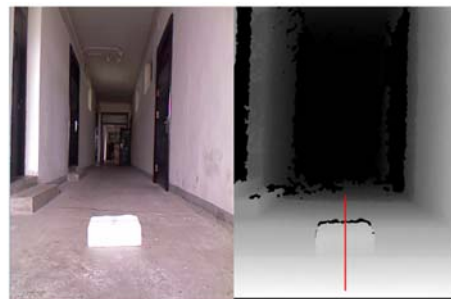
(b) 无障碍物深度值变化图

(a) Depth image without obstacles

(b) Variation of depth value with sample distance

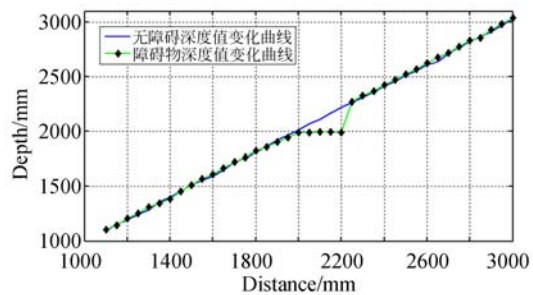
图 9 无障碍物深度图及深度值变化图

Fig. 9 Depth image without obstacles and variation of depth value



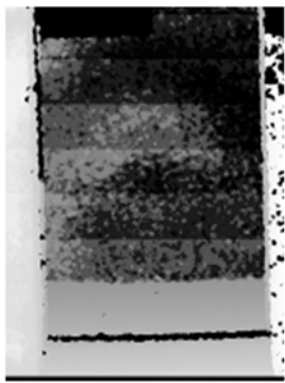
(a) 障碍物识别 RGB 图和深度图

(a) RGB and depth images of identified obstacles



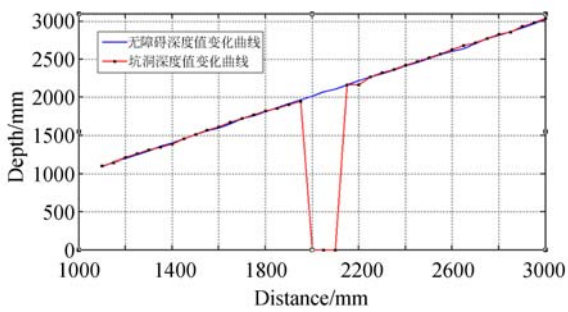
(b) 有障碍与无障碍时的深度值变化曲线

(b) Depth value curves with and without obstacles



(c) 坑洞识别深度图

(c) Depth image of identified pothole



(d) 坑洞与无障碍深度值的变化曲线

(d) Depth value curves without obstacles and with potholes

图 10 障碍物深度图及深度值变化图

Fig. 10 Depth images of identified obstacles and variations of depth value

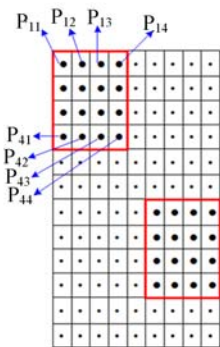


图 11 像素矩阵示意图

Fig. 11 Pixel matrix image

图 11 所示的像素矩阵示意图中左上方方框内就是像素点群,通过遍历获得的深度图像每一个像素,获得每个像素点的深度值,然后对每一行像素点群的深度值求和,设为 $P\text{-value}_1$,同样相隔三行的像素点群深度值求和设为 $P\text{-value}_4$,然后

将 $P\text{-value}_1$ 与 $P\text{-value}_4$ 作差,如公式(11)所示:

$$Obstacles = \sum_{i=1}^4 p_{ij} - \sum_{i=1}^4 p_{ij+4}, \quad (11)$$

其中: i, j 为像素坐标。实验测得传感器可识别最小障碍物的面积为 10 cm^2 ,对应深度值变化为 $50 \sim 68$,存在最大 18 个单位的误差,因此取 80 作为实验阈值,对应面积是 16 cm^2 左右,此时误差范围在 10 个单位以下,适合探测障碍物。当 $Obstacles > 80$ 时,即识别该区域有障碍物,然后再判断坐标值横坐标 x 是否大于 240,如果 $x > 240$ 则是在右侧;反之则在左侧。具体算法如图 12 所示。

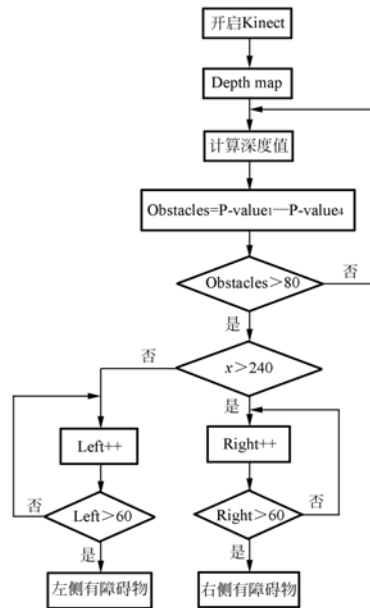
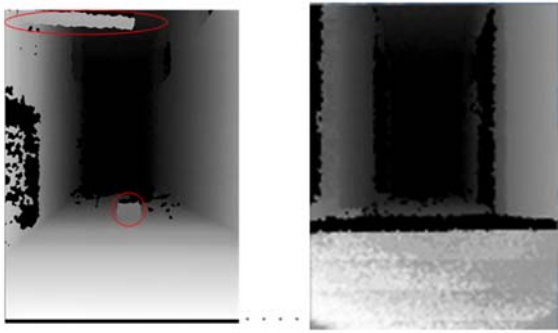


图 12 障碍物识别算法流程图

Fig. 12 Flow chart of obstacle identification algorithm

3.4 障碍物躲避路线判断算法

在障碍物识别和无效区域过滤后,需要进行障碍物躲避路线判断,并给出障碍物位置和躲避路线。在多障碍物环境下左右两侧同时检查有障碍物时,计算障碍物像素点群的深度值来确定优先选择哪一侧进行躲避,如果左右两侧障碍物深度值相同或相近,则说明障碍物是完全阻碍了行走,应该提示停止。如果障碍物深度值不相同或差距大,则提示累计值较小那一侧有障碍,完全通过后再提示下一个障碍物。如图 13(a)所示,该导盲拐杖提示信息是左侧有障碍,请右转;如图 13(b)所示,该导盲拐杖提示前方有障碍,请止步。当两侧同时出现障碍物时,判别算法如图 14 所示。



(a) 头部障碍物和地面障碍物 (b) 障碍物完全阻隔
 (a) Ground and head-level (b) Obstacles blocking
 obstacles road

图 13 多障碍物情形

Fig. 13 Depth images of multi-obstacles



(a) 示意图 (b) 实物图
 (a) Sketch (b) Physical image

图 15 导盲拐杖

Fig. 15 Blind aid cane

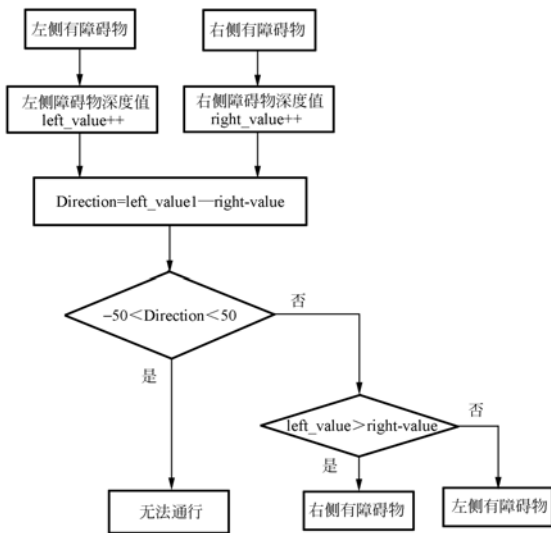


图 14 障碍物躲避方式判断

Fig. 14 Optimization of route judgment

一面墙时,系统测试结果如图 16(c)所示,前方有障碍,请止步;图 16(d)测试结果为无提示,原因是运用过滤算法,两侧障碍物不会阻碍行走,该区域被过滤掉。图 16(a)、(b)、(c)、(d) 4 个场景的测试结果表明:障碍物识别、无效区域过滤及避障路线判断都可以满足在行走过程中所遇到的常见情形,导盲效果比较理想。



(a) 悬挂障碍物 RGB 图和深度图

(a) Depth and RGB images of suspending obstacles



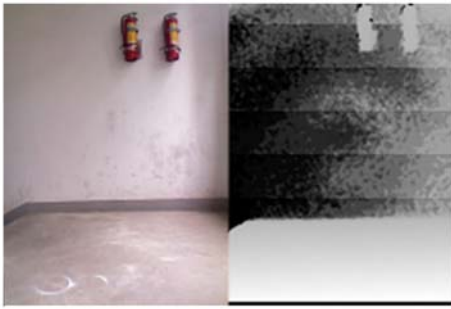
(b) 悬挂障碍物和地面障碍物 RGB 图和深度图

(b) Multi-obstacle depth image and its RGB image

4 导盲实验测试与结果

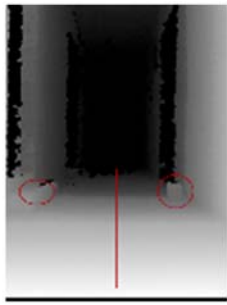
为了验证算法的准确性与实用性,本文开发了导盲系统实验装置,如图 15 所示,并在实际生活场景中进行了系统测试。首先,选择在普通楼道里进行测试,该场景中有地面障碍物和悬挂障碍物,如图 16 所示。

当前方有悬挂障碍物时,图 16(a)实验装置测试结果为前方右侧有障碍,请左转;当前方同时有悬挂障碍物和地面障碍物的时候,图 16(b)实验装置测试结果为前方左侧有障碍,请右转,原因是悬挂障碍物距离较近,因此提示右转;当前方是



(c) 墙面 RGB 图和深度图

(c) Depth and RGB images of wall



(d) 地面左右障碍物 RGB 图和深度图

(d) Ground multi-obstacle depth image and its RGB image

图 16 导盲系统实验测试图

Fig. 16 Test images of blind aid system

5 结 论

本文提出了基于单一传感器,用于复杂环境下的导盲系统。该系统采用深度图像翻转算法,使得该传感器的视角更适合探测路况,并且获得了最近的探测距离;通过过滤无效区域,提高了运算速率和提示精确度;提出的障碍物识别算法能够识别行走时所遇到的障碍物和判定障碍物位置,使导盲系统更加高效。然后开发了导盲实验装置并进行了实际场景测试。实验结果表明:障碍物实际距离的测量精度达 98% 以上,导盲系统能够在一定范围内准确识别面积大于 10^{-3} m^2 的障碍物及高度差超过 0.02 m 的坑洞。经过过滤和障碍物识别,在用户身高以内,宽度 1 m 的范围内障碍物会被检测到,通过语音将障碍物位置和最佳避障路线传递给用户,可满足盲人自主行走的要求。该装置使用的算法还对机器人自主导航具有重要的参考意义。

参考文献:

- [1] 中国残疾人联合会. 关于使用 2010 年末全国残疾人总数及各类、不同残疾人等级人数的通知[EB]. 中国盲人协会官方网站. [2012-03-13].
China Disabled Persons Federation. *Notification On the Number of Disabled People across the Country* [EB]. China Blind Person Association Official Website. [2012-03-13]. (in Chinese)
- [2] 朱玉,周婷玉. 我国有盲人 500 万占全世界盲人总数 18% [EB]. 新华网健康新闻. [2014-10-13].
ZHU Y, ZHOU T Y. *China Has Five Million Blind Accounted for 18% of the World Blind* [EB]. Xinhuanet. com Health News. [2014-10-13]. (in Chinese)
- [3] 方仁杰,朱维兵. 基于 GPS 定位与超声波导盲拐杖的设计[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(5): 1154-1157.
FANG R J, ZHU W B. Design of guiding blind cane based on GPS positioning and ultra sonic detection [J]. *Computer Measurement & Control*, 2011, 19(5): 1154-1157. (in Chinese)
- [4] LOPES S I, JOSÉ M N, ÓSCAR F F. MobiFree: a set of electronic mobility aids for the blind [J]. *Procedia Computer Science*, 2012, (14): 10-19.
- [5] 赵连军,刘恩海,张文明,等. 单目三点位置测量精度分析[J]. 光学精密工程, 2014, 22(5): 1190-1197.
ZHAO L J, LIU E H, ZHANG W M, *et al.*. Analysis of position estimation precision by cooperative target with three feature points [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(5): 1190-1197. (in Chinese)
- [6] 何博侠,张志胜,戴敏,等. 基于序列局部图像的高精度测量[J]. 光学精密工程, 2008, 16(2): 367-373.
HE B X, ZHANG ZH SH, DAI M. A high-dimension measurement methods based on sequential partial images [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(2): 367-373. (in Chinese)
- [7] 李艳红,赵跃进,冯立春,等. 基于脉冲位相的红外热波无损检测法测量缺陷深度[J]. 光学精密工程, 2008, 16(1): 55-58.

- LI Y H, ZHAO Y J, FENG L CH, *et al.*. Measurement of detect depth by infrared thermal wave nondestructive evaluation based on pulsed phase[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(1):55-58. (in Chinese)
- [8] NI D J, WANG L, DING Y, *et al.*. The design and implementation of a walking assistant system with vibrotactile indication and voice prompt for the visually impaired[C]. 2013 *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2013:2721-2726.
- [9] FILIPE V, FERNANDES H, SOUSA A. Blind navigation support system based on Microsoft Kinect [J]. *Procedia Computer Science*, 2012,14(8): 94-101.
- [10] 苏仕玮, 侯廷伟. 以 Kinect 配合智能型手机实做盲人辅具系统[D]. 国立成功大学, 2013:1-47.
- SU SH W, HOU T W. A voice and vision smart-phone-based blind aid system using Kinect [D]. *National Cheng Kung University*, 2013,8(47): 1-47. (in Chinese)
- [11] 余涛. Kinect 应用开发实战[M]. 北京:机械工业出版社, 2013.
- YU T. *Kinect in Action*[M]. Beijing: China Machine Press, 2013. (in Chinese)
- [12] JOSE-J, LINNET A, LUIS J. Detecting objects using color and depth segmentation with Kinect sensor [J]. *Procedia Technology*, 2012,14:196-204.
- [13] 张天雷, 何雯. 3D 图形与技术交互应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2013.
- ZHANG T L, HE W. *Make Things See*[M]. Beijing: Posts & Telecom press, 2013. (in Chinese)

作者简介:



张克华(1975—),男,湖南涟源人,博士,副教授,硕士生导师,2000年于大连铁道学院获得学士学位,2004年于广西大学获得硕士学位,2009年于浙江工业大学获得博士学位,主要从事超精密加工技术及装备的研究。E-mail: mature@zjnu.edu.cn



王书平(1988—),男,山东潍坊人,硕士研究生,2008年于鲁东大学获得学士学位,目前主要从事精密测量与三维重构的研究。E-mail: wangspyunfeng@163.com

(本栏目编辑:李自乐)

(版权所有 未经许可 不得转载)