

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.03.013

面向视障人群的障碍物位置与距离的视觉测量方法

任慧娟, 金守峰, 林强强, 程云飞, 顾金芋

(西安工程大学 计算机科学学院, 陕西 西安 710048)

摘要:针对视障人群与障碍物之间的位置与距离难以检测的问题,课题组提出了基于单目视觉的障碍物检测与定位方法。该方法基于单目视觉系统获取外界环境信息,在三帧差法的基础上对相邻帧差图像进行加法运算,降低了噪声的影响,实现了对正前方和两侧横穿的障碍物的检测与定位;结合单目视觉系统标定,建立了单目测距模型,计算视障者与障碍物之间的距离;根据视障者的行走速度规划防撞预警策略。通过实验验证表明该方法能够有效检测出人行道上的行人障碍物,同时距离障碍物小于8 m时测距误差控制在5%以下,并提示预警措施。课题组的研究在一定程度上解决了视障人群出行安全的问题。

关键词:视障人群;障碍物检测;单目视觉;帧差法;测距模型

中图分类号:TP202;TH789

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2020)03-0065-05

Visual Measurement Method for Obstacle Position and Distance for Visually Impaired People

REN Huijuan, JIN Shoufeng, LIN Qiangqiang, CHENG Yunfei, GU Jinyu

(School of Computer Science, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: Aiming at the problem that the position and distance between visually impaired people and obstacles is difficult to detect, a method based on monocular vision for obstacle detection and localization is proposed. The method was based on the monocular vision system to obtain the external environment information. On the basis of the three-frame difference method, the adjacent frame difference images were added to reduce the influence of noise, and this method achieved the detection and localization of obstacles that were traversed directly in front and on both sides. Combined with the calibration of the monocular vision system, a monocular ranging model was established to calculate the distance between the visually impaired and the obstacle, and the anti-collision warning strategy was planned according to the walking speed of the visually impaired. The experimental results show that the proposed method can effectively detect pedestrian obstacles on the sidewalk, and the distance measurement error is controlled below 5% when the distance is less than 8 m, indicating early warning measures. This study solves the problem for visually impaired people to some extent.

Keywords: visually impaired people; obstacle detection; monocular vision; frame difference method; ranging model

人类利用视觉获取的信息量占获取的外界信息的80%以上;因此视障人群因视觉信息缺失所带来的不便可想而知;视障人群数量也在急剧增加,视障人群的安全出行备受社会关注^[1-2]。导盲拐杖由于其成本低廉,普及率最广。俞国华等^[3]研究的盲杖利用超

声波技术探测障碍物,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状态,不过该设备的探测范围仅局限于地面,不能够测量悬空障碍物。张克华等^[4]开发的基于 Kinect 的导盲拐杖能够检测地面和头部之间的障碍物,并通过语音传递给用户,以实现

收稿日期:2019-11-04;修回日期:2020-02-26

基金项目:国家自然科学基金(61701384);西安市科技计划项目(201805030YD8CG14-16)。

第一作者简介:任慧娟(1975),女,陕西西安人,工程师,硕士研究生,主要研究方向为工业设计工程。E-mail:renhuij@126.com

导盲。然而拐杖所能获取的障碍物信息有限,且太过显眼,容易使视障人群产生自卑心理。导盲犬在具备导盲能力前必须经历相当长时间的训练与学习,所以真正能胜任导盲任务的导盲犬的价格都非常昂贵^[5]。导盲机器人利用各种传感器感知外部环境信息,将其转换成触觉或听觉信号来辅助视障人群安全出行^[6-12]。Lopes等^[13]采用超声波检测地面障碍物,利用安装在头部的传感器检测头部障碍物,由于传感器较多,不利于安装、携带。Shraga Shoval等^[14]利用安装在腰部的超声波传感器构成的 Navbelt 系统检测障碍物。Sainarayanan等^[15]开发的 NAVI 导盲系统,通过模糊算法实时识别图像中的目标对象,再将其转换成声音信号。

在室外行走时,人行道上的行人、树木等障碍物影响着视障人群的安全出行,现有的导盲设备能够起到一定的辅助出行的作用,但是对于障碍物的空间位置、障碍物与用户之间的距离等信息的检测还不够完善。针对此类障碍物的检测,课题组以帧差法对障碍物进行定位,建立基于单目视觉系统的测距模型,估计视障者与障碍物的距离,建立防撞预警策略,为视障人群的出行安全提供保障。

1 单目视觉系统及其测距模型的建立

单目视觉系统穿戴在视障者的头部,相机的光轴与地面平行^[16],如图1所示,世界坐标系与相机坐标系(O - XYZ)重合, OY 轴垂直于地面, OX 轴指向水平方向。相应的图像坐标系为 $O_0-u_0v_0$,其中, ou 轴与 OX 轴平行, ov 轴与 OY 轴平行。设 $P(X,Y,Z)$ 为三维空间中任意一点, P 点距离视障者的距离为 d ,其在图像平面中的成像为 $p'(u,v)$ 。

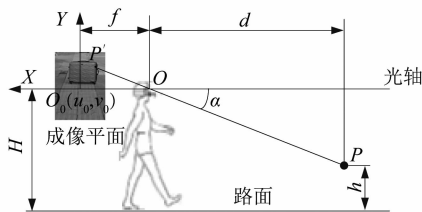


图1 单目视觉系统

Figure 1 Monocular vision system

为了估计当前视障者与障碍物之间的距离,需要将三维空间映射到二维图像平面,根据针孔成像原理,在假设人行道为平面,且单目视觉系安装高度不变的前提下, PP' 与光轴方向夹角为 α ,则

$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha &= (H-h)/d; \\ \tan \alpha &= O_0P'/f. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: H 为相机安装高度; O 点为光心; h 为 P 点到路面的距离; f 为焦距。

由式(1)可得

$$d = (H-h)/\tan \alpha = (H-h)f/O_0P'. \quad (2)$$

相机的图像坐标与障碍物的世界坐标的转换关系为

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/dX & 0 & u_0 \\ 0 & 1/dY & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

式中: u_0, v_0 为像平面中心点; O_0 为光轴与像平面的交点。

其中 $X = (u - u_0)dX, Y = (v - v_0)dY$,则有

$$(O_0P')^2 = X^2 + Y^2 = [(u - u_0)dX]^2 + [(v - v_0)dY]^2. \quad (4)$$

又因为

$$\left. \begin{aligned} f &= \alpha_x \cdot dX; \\ f &= \alpha_y \cdot dY. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中 α_x, α_y 为相机内参数。

将式(4)和(5)代入式(2)中,可得障碍物与视障者之间的距离

$$d = (H-h)f/O_0P' = (H-h)/\sqrt{[(u-u_0)/\alpha_x]^2 + [(v-v_0)/\alpha_y]^2}. \quad (6)$$

2 基于三帧差法的障碍物定位

在公式(6)中的 H 为单目视觉系统在视障者安装高度可以通过实际测量获得, f 为单目视觉系统中相机的焦距可以通过标定获得,障碍物的高度 h 课题组采用帧差法进行计算。

三帧差分算法是在两帧差分算法的基础上,对连续的3帧图像分别作差分计算^[17-19],得到的帧差图像为

$$\left. \begin{aligned} G_1(x,y) &= |F_k(x,y) - F_{k-1}(x,y)|; \\ G_2(x,y) &= |F_{k+1}(x,y) - F_k(x,y)|. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式中: $F_{k-1}(x,y), F_k(x,y), F_{k+1}(x,y)$ 为连续的第 $k-1, k, k+1$ 帧图像; $G_1(x,y), G_2(x,y)$ 为帧差后的图像。

对帧差后的图像 $G_1(x,y), G_2(x,y)$ 选取合适的阈值 T 进行二值化处理为

$$D_1(x,y) = \begin{cases} 1, G_1(x,y) \geq T, \\ 0, G_1(x,y) < T. \end{cases} \quad (8)$$

$$D_2(x,y) = \begin{cases} 1, G_2(x,y) \geq T, \\ 0, G_2(x,y) < T. \end{cases} \quad (9)$$

式中: T 为阈值; $D_1(x,y), D_2(x,y)$ 为二值化后的图像。

最后,将得到的二值图像 $D_1(x,y)$ 、 $D_2(x,y)$ 进行逻辑“与”运算,可得

$$R(x,y) = D_1(x,y) \wedge D_2(x,y)。 \quad (10)$$

式中: $\wedge$ 为“与”运算符; $R(x,y)$ 为“与”运算后的图像。

由于背景信息是动态变化的,差分后仍然留在前景目标中,经过二值化和逻辑“与”运算后的运动目标“融”在噪点中无法提取^[20],因而导致不能准确对目标进行检测识别。

针对动态背景的影响,课题组对帧差图像进行加法运算:

$$R'(x,y) = G_1(x,y) + G_2(x,y)。 \quad (11)$$

式中: $G_1(x,y)$ 、 $G_2(x,y)$ 为帧差后的图像;“+”为加法运算符; $R'(x,y)$ 为加法运算后的图像。

加法运算后的图像如图 2 所示,通过帧差算法能够获得障碍物的轮廓矩信息,轮廓矩在垂直方向的长度为障碍物的高度 h ,将图像尺寸和高度参数带入到公式(6)中可计算障碍物与视障者之间的距离。



图 2 障碍物定位

Figure 2 Positioning obstacles

3 防撞预警策略

在室外行走时,人行道上串流不息的行人及行人的运动状态对视障人群的出行也带来了安全隐患,通过单目视觉系统确定障碍物位置信息后,为了保障视障者的安全行走,课题组对防撞预警策略进行了规划。

视障人群的行走速度一般不超过 1 m/s,根据行走过程中速度较慢的特点,考虑视障者主观的安全考虑,基于安全距离进行防撞预警策略的规划^[21]。当视障者和障碍物之间的距离 $d \leq 3$ m 时,由于距离较近,属于危险状态,需要进行危险警报;当视障者和障碍物之间的距离 $3 \text{ m} < d < 7 \text{ m}$ 时,由于距离相对较远,可进行危险提示;当视障者和障碍物之间的距离 $d \geq 7 \text{ m}$ 时,由于距离较远,系统可不进行任何提示,继续检测障碍物。

防撞预警策略规划:

$d \leq 3 \text{ m}$, 危险警报;

$3 \text{ m} < d < 7 \text{ m}$, 提示报警;

$d \geq 7 \text{ m}$, 安全。

4 实验数据分析

4.1 实验装置与标定

课题组选用可穿戴式的单目视觉系统如图 3 所示。实验装置质量为 97 g, 像素 8×10^6 dpi, 输出接口

为 USB, 光圈值 2.2, 视场角 87° , 最大容量为 32 GB。将其佩戴的头上, 模仿人眼视角获取周围环境信息。



图 3 实验装置

Figure 3 Experimental device

采用如图 4 所示的 10×10 黑白色棋盘格进行视觉系统的标定模板, 每个小正方形的边长为 20 mm, 拍摄距离大概为 120 mm。对每张图片进行角点检测, 以棋盘模板的左上角的起点逆时针方向确定交点检测的区域, 通过 MATLAB 标定工具箱得到单目视觉系统的相关参数如表 1 所示。

表 1 摄像机内参数

Table 1 Camera internal parameter

α_x	α_y	u_0	v_0
2 853.42	2 852.45	1 237.385	1 622.765

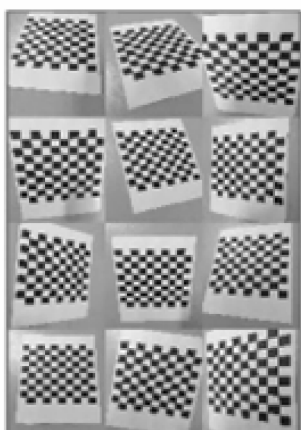


图4 标定板

Figure 4 Calibration board



(a)正前方障碍物



(b)正前方障碍物定位结果



(c)横穿障碍物



(d)横穿障碍物定位结果

图5 实验结果

Figure 5 Experimental results

表2 不同实际距离测量的结果
Table 2 Results of different actual distance measurements

实际距离/m	本文方法测量结果/m	误差/%	预警
0.50	0.49	2.00	危险报警
1.00	0.97	3.00	危险报警
1.50	1.45	3.30	危险报警
2.00	1.93	3.50	危险报警
3.00	2.91	3.00	危险报警
5.00	4.81	3.80	危险提示
7.50	7.19	4.13	安全
10.00	9.40	6.00	安全
15.00	13.62	9.16	安全
20.00	18.01	9.95	安全

5 结论

1) 为了保障视障人群的出行安全,课题组基于可穿戴式的单目视觉系统获取人行道上的环境信息,在三帧差法的基础上对相邻帧差图像进行加法运算,降

4.2 实验数据分析

实验环境为平坦的人行道,实验人员穿戴单目视觉系统获取行进前方的环境信息,保持视觉系统的光轴方向与地面平行,获取如图5(a)所示的正前方障碍物和如图5(c)所示的横穿障碍物。通过课题组算法得到障碍物的定位结果如图5(b)和(d)所示。结果表明对于单个出现的障碍物能够有效检测并进行定位。

同时,对障碍物分别在不同距离时,根据公式(6)计算出每组距离的测量值,如表2所示。当距离小于等于8 m的时候,误差控制在5%以内,有着较高的精度;当距离大于8 m时,随着距离的不断增大,各种干扰因素增加,障碍物的定位精度影响着测距的误差,导致误差增加。

低噪声的影响,有效检测出人行道上的行人,并对行人进行定位。

2) 课题组建立了单目视觉的距离测量模型,结合视觉系统的标定,计算出视障者与障碍物之间的距离,通过实验验证,在距离小于等于8 m时的测量误差可控制在5%以内,满足了安全出行的要求。

3) 为了进一步保障安全出行,在障碍物定位与测距的基础上,课题组根据视障者的行走速度进行了防撞预警策略的规划,为后续的语音和振动提示提供技术支持。

参考文献:

- [1] 徐娟,牟书. 视力残疾人群智力测验工具的回顾及展望[J]. 中国特殊教育, 2018(2): 21-25.
- [2] 江牧,朱峰立. 视障人群出行公共设施设计研究[J]. 创意与设计, 2018(4): 45-51.
- [3] 俞国华,朱广伟,张珂. 基于多传感器融合的智能导盲杖研制[J]. 测控技术, 2015, 34(4): 20-23.

(下转第73页)