

视听融合导盲机器人的设计与研究

李子康, 徐桂芝, 郭苗苗

河北工业大学电气工程学院, 天津 300131

摘要 着眼于盲人出行问题,设计了一套视听融合导盲机器人系统。该系统可以实现环境障碍探测、道路交通标志识别、行进路径规划、信息实时交互等功能。硬件方面,通过各种类型光学传感器进行实时视觉信息采集,并通过语音形式与使用者进行信息交互;软件方面,采用神经网络算法对多传感器信息进行数据融合以实现环境信息识别,采用双极系数法以及基于颜色直方图的图像分割分别实现对斑马线和盲道两种交通标志的识别,基于人工势场法实现行进路径规划。为了验证该方案的有效性,搭建了原型系统,并在真实环境下进行测试,实验结果表明,该导盲机器人具有识别准确率高、对复杂环境性能稳健等优点,满足盲人出行需要。

关键词 机器视觉; 导盲机器人; 信息融合; 交通标志识别; 路径规划

中图分类号 TP242 **文献标识码** A

doi: 10.3788/LOP54.121506

Design and Research of Audio-Visual Fusion Blind Guiding Robot

Li Zikang, Xu Guizhi, Guo Miaomiao

College of Electrical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300131, China

Abstract Focusing on the travel problem of blind people, an audio-visual fusion blind guiding robot system is designed, which can realize the detection of environmental obstacles, the identification of road traffic signs, the planning of path and the real-time interaction of information. In terms of hardware, the real-time visual information are collected through various types of optical sensors, and the information interaction with the users are carried out in the voice form. In terms of software, the neural network algorithm is used to carry out the data fusion from multi-sensors so as to realize the environmental information recognition, and the double pole coefficient method and the image segmentation based on the color histogram are used to realize the recognition of the zebra crossing and the blind road, respectively. The path planning is implemented based on the artificial potential field method. To verify the effectiveness of the proposed scheme, we build a prototype system and test it in a real environment. The test results show that the blind guiding robot has the advantages of high recognition accuracy and robust performance to complex environment, and it is satisfying the travel needs of blind people.

Key words machine vision; blind guiding robot; information fusion; traffic sign recognition; path planning

OCIS codes 150.0155; 100.0100; 150.5758

1 引言

据世界卫生组织 2010 年的统计数据显示,全球视力受损者总数估计为 2.85 亿,其中 3900 万为盲人,而中国是全世界盲人数量最多的国家,约有 500 万。眼睛是人类最重要的感觉器官,人们从外界获取的各种信息中 80% 以上是通过视觉获得的。然而大多数盲人生活在现代城市,生理上的缺陷以及生活环境的日益复杂,给盲人的生活带来了诸多不便。

收稿日期: 2017-06-11; **收到修改稿日期:** 2017-07-14

基金项目: 河北省自然科学基金(F2017202197)、河北省高等院校科学技术研究项目(QN2017048)

作者简介: 李子康(1993—),男,硕士研究生,主要从事机器人学、机器人视觉、图像处理等方面的研究。

E-mail: 201521401029@stu.hebut.edu.cn

导师简介: 徐桂芝(1962—),女,博士,教授,主要从事神经工程、人工智能、生物电磁和电磁防护仿生等方面的研究。

E-mail: gzxu@hebut.edu.cn(通信联系人)

针对盲人生活不便的问题,导盲犬以及导盲手杖^[1-2]逐渐成为帮助盲人出行的工具。然而导盲犬不易训练且成本较高,导盲手杖的探测范围有限。因此国内外的研究团队开始致力于研究一种更智能可靠的导盲机器人。Wang 等^[3]设计了一种人机交互式导盲机器人,该机器人由触觉感知装置和人机交互系统组成,能够通过触觉系统分析二维平面上的信息并将信息传递给使用者,使用者可以通过操纵控制器来躲避障碍物,但是只能探测周围障碍物,不能有效地识别主要的交通标志;张莹^[4]设计了一种基于嵌入式技术的导盲机器人,能够识别障碍物与交通标志,但是不能将通过传感器接收的信号通过语音传达给盲人,给盲人造成了很多不便;韩雪峰^[5]设计了一种人机交互式导盲机器人,其能够通过传感器探测外界环境,并以语音的形式传递给盲人,但是该机器人对交通标志的识别效果较差,不能满足盲人的实际需求;张志美等^[6]设计了一种履带式导盲机器人,其利用超声波传感器、颜色传感器与光电传感器追踪地面上预设的黑色轨迹来躲避障碍物,但是该机器人功能局限性较大,无法在无黑色轨迹的环境下工作;汤智超等^[7]通过对摄像头采集到的图像进行处理,实现对盲道、斑马线的检测与识别,但是对图像的分割效果不太理想,不能有效地把交通标志与周围环境完全分离。

针对目前导盲技术的不足,设计了一种基于视听融合的导盲机器人。该机器人能够探测周围障碍物,识别主要的交通标志^[8-9],以及可以根据目的地位置实现路径规划,并能够将传感器提取的多种信息通过信息融合功能以语音的形式反馈给使用者。本文从导盲机器人结构与方案设计、多传感器信息融合算法、基于机器视觉的交通标志识别、人工势场法路径规划、全球定位系统(GPS)远程定位以及实验研究 6 个方面进行阐述。

2 导盲机器人结构与方案设计

根据盲人的活动制约确认了导盲机器人的功能并制定了机器人的总体方案,如图 1 所示,该方案包含了硬件和软件两大部分。

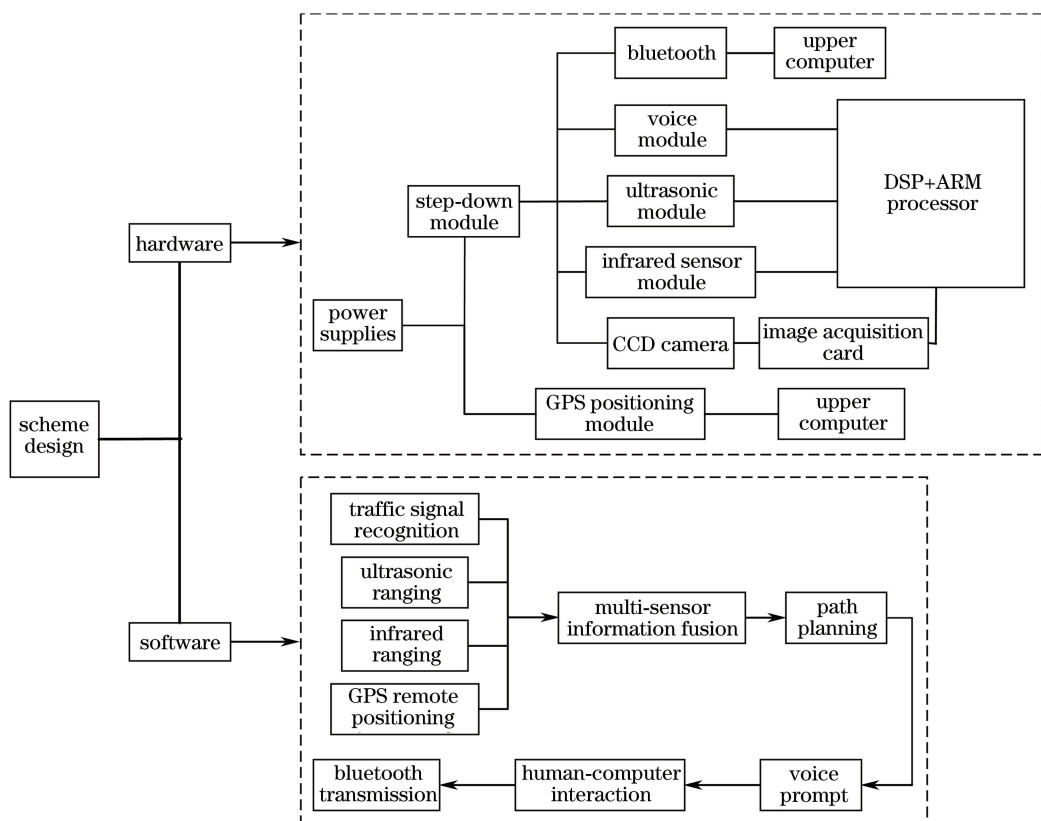


图 1 总体方案设计图

Fig. 1 Design drawing of overall plan

硬件方面,导盲机器人(图 2)以车形底盘为载体,以可伸缩型手杖连接机器人与使用者。底盘上方装有数字信号处理模块(DSP)+高级精简指令集处理器(ARM)的双核处理器控制整个系统正常工作;底盘前方装有超声波传感器和红外传感器以及 CCD 摄像头,CCD 摄像头通过图像采集卡与处理器相连;底盘中央装有驱动模块用以驱动电机;底盘后方装有语音模块和 GPS 定位模块用以实现语音提示以及远程定位功能;4 个由步进电机驱动的车轮在底盘两侧;可伸缩型手杆连接在底盘尾部,用以连接使用者和机器人。所有模块与车形底盘融为一体,可伸缩手杖为身高差异的盲人提供了方便。

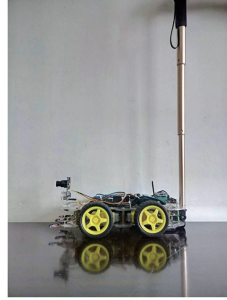


图 2 视听融合导盲机器人实物图

Fig. 2 Physical graph of the audio-visual fusion blind guiding robot

软件方面,视听融合导盲机器人的软件系统涉及多传感器信息融合算法^[10-11]、人工势场法^[12]、基于机器视觉的图像处理、GPS 定位算法、超声红外测距、蓝牙传输以及语音模块的表达。但是由于导盲中最重要的、要求最高的是对外界环境信息的探测,所以用于障碍物检测的多传感器信息融合算法以及对交通标志的检测识别是最主要的、难度最大的部分。这里的技术路线主要集中于多传感器信息融合算法、人工势场算法以及机器视觉部分。

3 多传感器信息融合算法

该导盲机器人有多个传感器模块,如果一个人不断地接收到这么多个信号,时间一长就会出现大脑疲劳现象。所以,需要对多个信号进行集中处理,融合多个传感器信息,筛选出其中关键的、有效的障碍物信息,规避次要的、无效的信息,减轻大脑负担。多传感器信息融合可以提供完整和系统的信息,极大地提高系统的精确性。

3.1 BP 神经网络样本产生

本设计采用反向传播(BP)神经网络算法^[13]进行多传感器信息融合,障碍物的信息是由超声波传感器以及红外传感器实时采集到的。机器人与障碍物的相对位置共有 8 种类型,如图 3 所示。

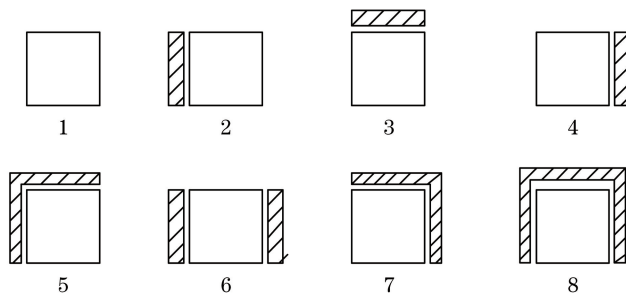


图 3 障碍物类型

Fig. 3 Obstacle types

设计的导盲机器人装配有一个超声波传感器和两个红外测距传感器,分别探测机器人前方和左右的障碍物。机器人采用的超声波传感器型号为 HC-SR04,测量量程为 2~400 cm;红外测距传感器型号为 GP2D12,测量量程为 10~80 cm。样本数据由于模式不同,会降低神经网络学习的速度,从而降低学习效率。因此在训练 BP 神经网络前,首先对样本数据进行归一化处理,即:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}}, \quad (1)$$

式中 $i=1,2,3, j \in [1,100]$, x'_{ij} 和 x_{ij} 分别为第 i 个传感器归一化前后的数据, $x_{i\max}$ 和 $x_{i\min}$ 分别为第 i 个传感器采集到的数据的最大值和最小值。

3.2 BP 神经网络设计实现

接下来设计 BP 神经网络模型。首先定义 $\mathbf{D}(d_1, d_2, d_3)$ 为机器人左前右三个方向上经归一化处理后的距离向量, 作为神经网络的输入, 障碍物类型作为神经网络的输出。当 $d_i \in I_0 = [0, 0.5]$ 时表示机器人处在障碍物威胁区域, 当 $d_i \in I_1 = (0.5, 1]$ 时表示机器人在障碍物威胁区域外。 d_i 的取值范围对应的神经网络期望输出如表 1 所示。设计神经网络由输入层、两个隐层以及输出层组成, 输入和输出层的神经元个数为 3 和 1, 隐层神经元个数分别为 8 和 4, 3 个输入神经元表示左右前 3 个方向的距离, 1 个输出神经元表示障碍物类型。

表 1 模式识别结果

Table 1 Results of pattern recognition

Neural network input	Obstacle distribution	Expected output
$d_1, d_2, d_3 \in I_1$	Without obstacles	1
$d_2, d_3 \in I_1; d_1 \in I_0$	Obstacle on the left	2
$d_1, d_3 \in I_1; d_2 \in I_0$	Obstacle on the front	3
$d_1, d_2 \in I_1; d_3 \in I_0$	Obstacle on the right	4
$d_1, d_2 \in I_0; d_3 \in I_1$	Obstacle on the left and front	5
$d_1, d_3 \in I_0; d_2 \in I_1$	Obstacle on the left and right	6
$d_2, d_3 \in I_0; d_1 \in I_1$	Obstacle on the right and front	7
$d_1, d_2, d_3 \in I_0$	Obstacles in the three directions	8

在 Matlab 环境下, 采用 Levenberg-Marquard 算法对该 BP 神经网络进行训练。将上述测得的数据按照每种类型随机分配的原则选取其中的 9/10 作为训练数据用于 BP 神经网络的学习, 剩下的 1/10 作为测试数据用于测试网络性能。网络的训练结果如图 4 所示, 当训练迭代次数达到 28 时, 该网络获得最好的性能。最后分别用每种障碍物类型对应的 6 个不同测试数据对训练好的网络进行测试, 测试结果见表 2。由测试结果可以看出, 这 48 次测试的误差非常小, 因此判定该网络性能较好, 可以满足障碍物类型识别。

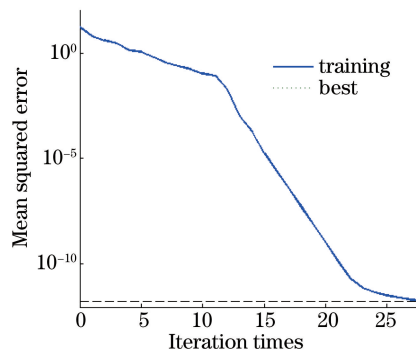


图 4 网络训练结果

Fig. 4 Results of network training

表 2 测试结果

Table 2 Results of test

Type	Test result					
1	1.0000	1.0001	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000
2	2.0000	2.0000	1.9998	1.9998	2.0000	2.0000
3	3.0000	2.9998	3.0000	2.9998	3.0000	3.0000
4	4.0002	4.0000	4.0000	4.0000	4.0003	4.0000
5	5.0000	5.0000	5.0000	4.9998	5.0000	5.0000
6	6.0002	6.0000	6.0000	6.0000	6.0002	6.0000
7	7.0002	7.0000	7.0000	7.0000	7.0000	7.0000
8	8.0001	8.0001	8.0000	8.0000	8.0001	8.0000

4 基于机器视觉的交通标志识别

在外界环境中,各种交通标志可以为行人传达重要的交通信息,是行人安全出行的重要保证。然而由于盲人不能通过视觉获取足够的有效信息,因此基于机器视觉的交通标志识别技术是导盲机器人研发的重要技术。

4.1 斑马线识别

斑马线由一组黑白交替、等间距的平行^[14]条形带组成。由于黑色与白色的条形带之间的色差非常明显、灰度对比度非常强烈以及黑白交替的规律性较强,因此可以利用图像的双极系数^[15]来表征和量化斑马线区域的灰度对比强烈程度,并通过双极系数值筛选出道路图像中灰度对比强烈的区域进行分析和判断。如果待检区域在斑马线区域内,则双极系数值非常高;反之,如果待检区域为非斑马线区域,则其灰度值基本一致,双极系数值较小。具体来说,首先定义一幅图像的密度分布函数为 $\rho_0(x)$,假设这幅图像中只包含黑色和白色,则 $\rho_0(x) = \alpha\rho_1(x) + (1-\alpha)\rho_2(x)$,其中 $\rho_1(x)$ 和 $\rho_2(x)$ 为分别该图像中黑、白像素的密度分布函数。设 μ_i 、 δ_i 分别为密度分布函数 $\rho_i(x)$ ($i=1,2,3$)的均值和标准差。图像的双极系数 γ 定义为

$$\gamma = \frac{1}{\delta_0^2} [\alpha(1-\alpha)(\mu_1 - \mu_2)^2], \quad (2)$$

式中 $\delta_0^2 = \alpha\delta_1^2 + (1-\alpha)\delta_2^2 + \alpha(1-\alpha)(\mu_1 - \mu_2)^2$, $\alpha = n_1/(n_1+n_2)$, n_1 和 n_2 是灰度图像的直方图上低灰度级区域和高灰度级区域对应的总像素点数。由(2)式可知, $0 < \gamma < 1$,且 $\gamma=1$ 对应的灰度图像具有完全双极性, $\gamma=0$ 对应的灰度图像完全缺乏双极性。

斑马线区域的灰度对比度较为强烈,而其他区域灰度值较为一致,相应的双极系数较低。因此可以采用分块的思想计算一幅图像不同区域的双极系数,并通过设定阈值将具有较高双极系数的斑马线区域从图像中分离出来。由于等宽度等间隔的斑马线在以一定视角成像时出现“近大远小”的现象,分块的尺寸也相应地采用近大远小的方式。图5(a)、(b)分别为原始道路图像及其采用不均匀分块方法对图像进行计算得到的双极系数图像。经双极系数法处理过的图像包含很多噪声,需要通过形态学处理对其噪声进行消除。采用形态学处理中的腐蚀操作对双极系数图像进行处理,可以消除噪声区域中物体之间的粘连,将其分离成包含许多孔洞和断续的区域。再通过面积阈值滤波,对目标区域进行优化,实现噪声的消除。图5(c)为经过形态学处理后得到的图像。



图5 (a)斑马线原始图像;(b)双极系数图像;(c)形态学处理后的图像

Fig. 5 (a) Original image of zebra crossing; (b) candidate regions using bipolarity; (c) morphological processing image

阈值分割可以将斑马线区域中白色的平行线提取出来,边缘提取可以将斑马线区域中的平行线提取出来。采用Otsu法^[16]对图像进行二值化,将白色平行线从斑马线区域中提取出来。最后通过Canny算子对分割后的图像进行边缘提取。图6为原始图像中的目标区域、阈值分割以及边缘提取的结果。

4.2 盲道识别

盲道的颜色通常很鲜艳,因此可以通过盲道的颜色特征来进行检测。采用基于颜色区域的图像分割方法其能够筛选出盲道区域,并对盲道区域进行边缘提取以实现盲道的识别^[17]。首先将图像由RGB转为HSI色彩空间。HSI有三个颜色分量,利用颜色饱和度S分量的直方图 $S_L(x)$ 对盲道图像进行分割。然而有时颜色直方图中会出现“锯齿”形状,很难通过直方图中的波峰、波谷分割图像。所以为了很好地确定分割点,先利用高斯平滑滤波器对原有颜色直方图进行平滑处理,处理后的颜色直方图函数 S_{SL} 为



图6 斑马线特征提取结果。(a)原始图像中的目标区域;(b)阈值分割结果;(c)边缘提取结果
Fig. 6 Results of feature extraction for zebra crossing. (a) Candidate region in original image;
(b) threshold segmentation result; (c) edge extraction result

$$S_{SL}(x, \delta_g) = S_L(x) * g(x, \delta_g) = \int_{-\infty}^{\infty} S_L(u) g(x-u, \delta_g) du = \int_{-\infty}^{\infty} S_L(u) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_g} \exp\left[-\frac{(x-u)^2}{2\delta_g^2}\right] du, \quad (3)$$

式中 $*$ 表示卷积, δ_g 表示高斯标准协方差, $g(x, \delta_g)$ 是高斯函数。该操作不仅降低了噪声,还消除了一些细小的锯齿。利用自适应多阈值^[18]方法对盲道图像进行分割,找准颜色直方图中的波峰和波谷。对于平滑处理后的颜色直方图函数 S_{SL} ,设它的相邻三个饱和度值分别为 x_{i-1}, x_i, x_{i+1} ,而且满足 $x_{i-1} < x_i < x_{i+1}$ 。如果:

$$\left[\frac{dS_{SL}(x)}{dx} \Big|_{x=x_{i-1}} < 0 \right] \cap \left[\frac{dS_{SL}(x)}{dx} \Big|_{x=x_i} = 0 \right] < \left[\frac{dS_{SL}(x)}{dx} \Big|_{x=x_{i+1}} < 0 \right], \quad (4)$$

则 $x = x_i$ 是要选择的一个阈值。图像S分量直方图以及经阈值分割后的结果如图7所示。

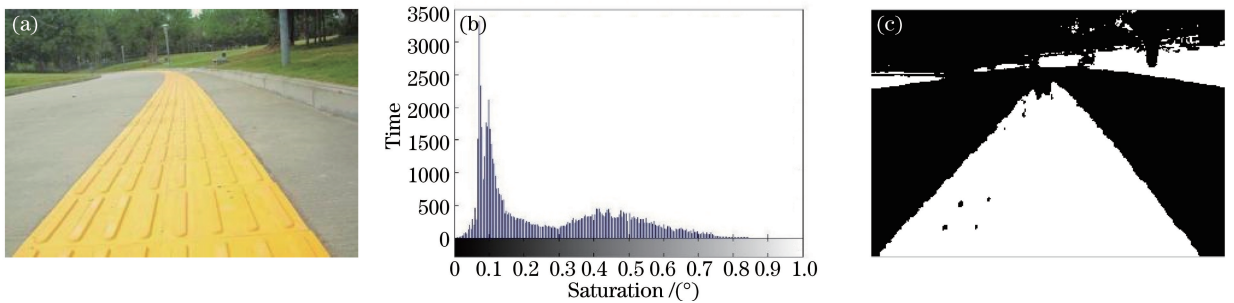


图7 (a)盲道原始图像;(b)S分量直方图;(c)颜色阈值分割结果
Fig. 7 (a) Original image of blind road; (b) S component saturation histogram;
(c) color threshold segmentation result

考虑到经阈值分割后的图像中会包含与盲道颜色相近的非盲道区域,以及由于光照不均匀引起盲道的部分区域出现孔洞与断续的问题,可以采用补洞操作填充盲道区域中的孔洞。经处理后的盲道边缘存在较多狭窄的间断和细小的突出物,采用形态学处理的开操作消除经区域分割后盲道边缘的尖刺,使得边界变得平滑。使用邻域面积过滤算法,将二值图像中面积小于1500的区域过滤掉,实现盲道的识别。最后采用Canny算子^[19]对处理后的二值化图像进行边缘提取以实现盲道的识别。图8为对图像阈值分割后分别进行形态学处理、面积阈值滤波以及边缘提取的结果。

5 基于人工势场法的路径规划

在复杂环境中,需要导盲机器人能够在此环境中,按照一定的评价标准,寻找一条能够从起始地到目的地的最便捷的无碰路径^[20],这就需要对机器人进行路径规划的设计。本设计采用人工势场法实现路径规划。其基本思想是将机器人所在空间的运动看做一种在虚拟力场中的受力运动,障碍物对其产生斥力,目标点对其产生引力,机器人在合力的作用下朝着目标点运动。人工势场法具体原理如下:



图8 盲道特征提取结果。(a)形态学处理;(b)面积阈值滤波;(c)边缘提取

Fig. 8 Results of feature extraction for blind road. (a) Morphological processing;

(b) area threshold filtering; (c) edge extraction

设机器人在空间中的位置为 $\mathbf{X}=[x, y]^T$ 。机器人与目标点之间的引力场为

$$U_{\text{att}}(\mathbf{X}) = \frac{1}{2}k_{\text{att}}(\mathbf{X} - \mathbf{X}_g)^2, \quad (5)$$

式中 k_{att} 是增益系数, \mathbf{X} 是机器人的当前位置, \mathbf{X}_g 是目标点的位置。由该引力场所生成的对机器人的引力为引力场的负梯度, 即

$$\mathbf{F}_{\text{att}}(\mathbf{X}) = -k_{\text{att}}|\mathbf{X} - \mathbf{X}_g|, \quad (6)$$

引力 \mathbf{F}_{att} 随机器人趋近于目标点而呈线性接近于零。机器人与目标点之间的斥力场为

$$U_{\text{rep}}(\mathbf{X}) = \begin{cases} \frac{1}{2}k_{\text{rep}}\left(\frac{1}{\|\mathbf{X} - \mathbf{X}_{\text{abs}}\|} - \frac{1}{d_0}\right)^2, & \|\mathbf{X} - \mathbf{X}_{\text{abs}}\| \leq d_0, \\ 0, & \|\mathbf{X} - \mathbf{X}_{\text{abs}}\| > d_0 \end{cases}, \quad (7)$$

式中 k_{rep} 是增益系数, \mathbf{X}_{abs} 是障碍物的位置, $\|\mathbf{X} - \mathbf{X}_{\text{abs}}\|$ 是机器人与障碍物的距离, d_0 是障碍物的影响距离。由该斥力场所生成的对机器人的斥力为斥力场的负梯度:

$$F_{\text{rep}}(\mathbf{X}) = \begin{cases} k_{\text{rep}}\left(\frac{1}{\|\mathbf{X} - \mathbf{X}_{\text{abs}}\|} - \frac{1}{d_0}\right) \frac{\partial(\|\mathbf{X} - \mathbf{X}_{\text{abs}}\|)}{\partial \mathbf{X}}, & \|\mathbf{X} - \mathbf{X}_{\text{abs}}\| \leq d_0, \\ 0, & \|\mathbf{X} - \mathbf{X}_{\text{abs}}\| > d_0 \end{cases}, \quad (8)$$

所以机器人在运动空间中的合势场和合力分别为

$$U_{\text{total}}(\mathbf{X}) = U_{\text{att}}(\mathbf{X}) + U_{\text{rep}}(\mathbf{X}), \quad (9)$$

$$\mathbf{F}_{\text{total}}(\mathbf{X}) = \mathbf{F}_{\text{att}}(\mathbf{X}) + \mathbf{F}_{\text{rep}}(\mathbf{X}), \quad (10)$$

即机器人在 $\mathbf{F}_{\text{total}}(\mathbf{X})$ 的作用下实现路径规划。接下来在 Matlab 环境下模拟导盲机器人工作环境, 并利用人工势场法对机器人进行仿真, 仿真结果如图 9 所示。

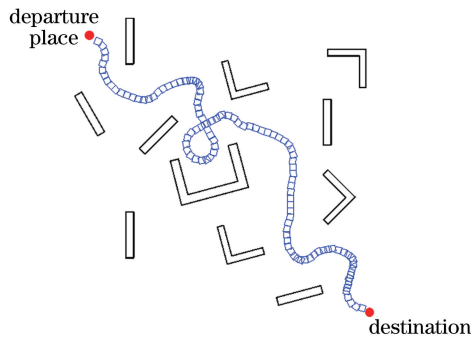


图9 路径规划仿真结果

Fig. 9 Simulation result of path planning

由仿真图像可以看出, 利用人工势场法可以很好地在起点与目的地之间规划出一条最便捷的无障碍路径; 通过图像中方形稀疏性分布可以看出该机器人能够根据自身与障碍物的距离合理调整运动速度, 有效地实现机器人的路径规划。

6 GPS 远程定位

远程定位功能可以实时向盲人的亲友发送盲人所在位置,加强盲人与亲友的联系,保证盲人安全。选用 SIM808 模块与用户识别模块(SIM)电话卡实现 GPS 远程定位。通过对 SIM808 模块编程使其通过 SIM 卡的通用分组无线业务(GPRS)流量上传 GPS 数据到中国移动物联网开放平台(OneNET),计算机通过从 OneNET 获取 GPS 数据并处理后,在地图上显示模块所在位置实现 GPS 远程定位。功能实现示意图以及定位效果如图 10 所示。

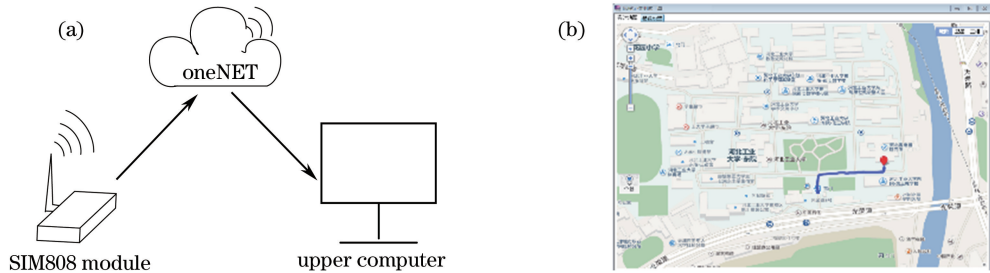


图 10 远程定位(a)功能示意图及(b)效果图

Fig. 10 (a) Functional schematic and (b) effect map of remote positioning

选取河北工业大学校门到实验楼这段路作为测试路段,从远程定位测试图可以看出,远程定位效果较好,不仅定位准确性高、实时性好,而且可以显示机器人的运动轨迹。

7 实验测试与研究

导盲机器人的实验测试是将机器人置于特定的环境下进行测试与分析。总体来讲就是根据设计目的,人为地模拟导盲机器人的工作环境,在有利的条件下研究其功能。为了验证整体系统的可行性,对导盲机器人进行了实验测试。导盲机器人的实验测试研究主要包括障碍识别实验、远程定位实验以及人机合作实验。

7.1 障碍识别测试

导盲机器人障碍识别是最重要的功能,一个障碍识别性能较好的导盲机器人可以有效地弥补盲人在获取视觉信息上的不足。实验中模拟机器人的工作环境,在盲人的行进路线上放置了障碍物,如图 11 所示,导盲开始,导盲机器人引导盲人行进,在距离障碍物大约 0.5 m 时,机器人改变方向躲避障碍并发出提示音,并且行进一段距离后改变方向,机器人回到最初的行进轨道,实现避障功能。经实验验证,设计的导盲机器人具有良好的避障功能,可以有效地引导盲人躲避障碍,符合设计要求。



图 11 导盲机器人障碍识别实验。(a)发现障碍;(b)改变行进方向;(c)保持行进方向;(d)成功躲开障碍

Fig. 11 Obstacle identification experiment of the blind guiding robot. (a) Find the obstacle;
(b) change the direction; (c) keep moving; (d) avoid the obstacle successfully

7.2 交通标志识别测试

在实验中,选取不同环境背景下的 50 张图像(包括 35 张正样本和 15 张负样本),然后分别对斑马线与盲道进行识别。设定当识别的斑马线条数大于图像中斑马线条数 75% 时为正确识别;当识别的盲道面积大于图像中盲道面积的 75% 时为正确识别。斑马线与盲道的部分识别效果分别如图 12 和图 13 所示,统计结果见表 4 和表 5。



图 12 斑马线识别效果。(a)原图;(b)识别图

Fig. 12 Results of zebra crossing recognition. (a) Original images; (b) identification images

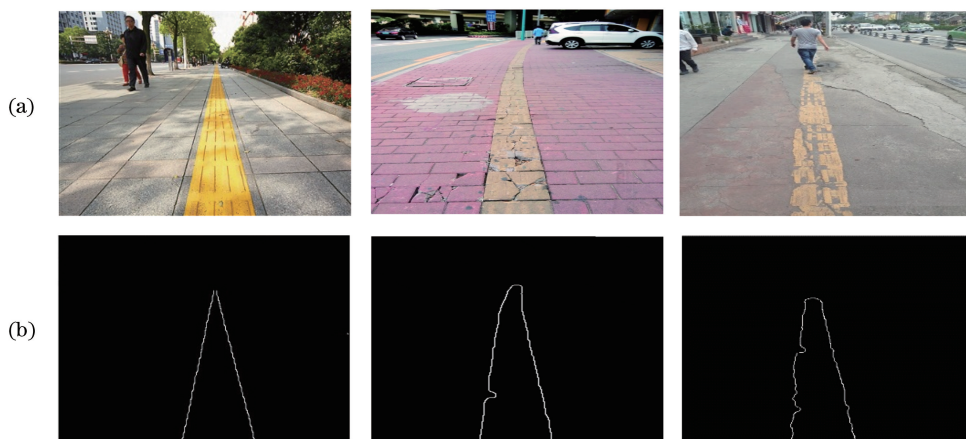


图 13 盲道识别效果。(a)原图;(b)识别图

Fig. 13 Results of blind road recognition. (a) Original images; (b) identification images

表 3 斑马线识别结果统计

Table 3 Statistics of zebra crossing recognition results

Test image	Number of correct identification	Accuracy rate /%
Zebra crossing road	34	97.14
No zebra crossing road	15	100
Total	49	98

表 4 盲道识别结果统计

Table 4 Statistics of blind road recognition results

Test image	Number of correct identification	Accuracy rate /%
Blind road	32	91.43
No blind road	15	100
Total	47	94

由实验结果可以看出,斑马线和盲道的识别率分别达到 97.14%与 91.43%,识别效果较好,识别率较高,能够满足导盲机器人准确地检测和识别交通标志的功能需求。

8 结 论

针对目前导盲机器人场所受限以及探测距离短、精度不够等技术上的不足,设计了一种视听融合导盲机器人。首先根据盲人的活动制约确认了机器人的功能并制定了机器人的总体方案;然后采用 BP 神经网络

算法进行机器人的多传感器信息融合,通过双极系数法以及基于颜色直方图的图像分割分别对斑马线和盲道两种交通标志进行识别,采用人工势场法进行路径规划,并通过 GPS 定位模块实现导盲机器人路径轨迹的实时跟踪;最后在真实环境下对机器人进行作业实验。实验结果表明该机器人能够有效地躲避障碍,识别主要交通标志的准确率达 90% 以上,远程定位实时性好,精确度高,符合盲人需要。然而,该机器人在机器视觉系统的设计方面还不够完善,接下来要实现其对交通信号灯的识别,争取开发出更智能的导盲机器人为盲人服务。

参 考 文 献

- [1] Zhao Xiaodong, Sun Yunqiang, Yao Aiqin. Design of ultrasonic wave guide blind rod [J]. Shanxi Electronic Technology, 2011 (5): 19-21.
赵晓东, 孙运强, 姚爱琴. 超声波导盲杖的设计 [J]. 山西电子技术, 2011(5): 19-21.
- [2] Meng Xiangwei, Yan Xijun, Ouyang Xingchen, *et al.* Design of blind guiding crutch based on ultrasonic sensor [J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20 (17): 11-14.
孟祥薇, 严锡君, 欧阳星辰, 等. 基于超声波传感器的导盲杖设计 [J]. 电子设计工程, 2012, 20(17): 11-14.
- [3] Wang H, Liu X P. Human-robot interaction via haptic device [C]. IEEE International Symposium on Haptic Audio-Visual Environments and Games, 2010: 1-6.
- [4] Zhang Ying. Design of guide robot based on embedded technology [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2011.
张莹. 基于嵌入式技术的导盲机器人设计 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- [5] Han Xuefeng. Guide robot [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2009.
韩雪峰. 导盲机器人 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [6] Zhang Zhimei, Cheng Liying, Zhao Yiheng, *et al.* Fuzzy-PID arithmetic for blind guiding robots [J]. Journal of Shenyang Normal University (Natural Science Edition), 2015, 33(1): 81-85.
张志美, 程立英, 赵以恒, 等. 基于模糊 PID 控制算法的导盲机器人研究 [J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2015, 33(1): 81-85.
- [7] Tang Zhichao, Su Lin, He Chao, *et al.* Research on traffic sign visual recognition technology of guide robot [J]. Computer Technology and Development, 2014(9): 23-27.
汤智超, 苏琳, 何超, 等. 导盲机器人的交通标志视觉识别技术研究 [J]. 计算机技术与发展, 2014(9): 23-27.
- [8] Li Houjie, Qiu Tianshuang, Song Haiyu, *et al.* Separation algorithm of traffic signs based on curvature scale space corner detection [J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(1): 0115002.
李厚杰, 邱天爽, 宋海玉, 等. 基于曲率尺度空间角点检测的交通标志分离算法 [J]. 光学学报, 2015, 35(1): 0115002.
- [9] Xu Yan, Wei Zhenyu. An improved traffic sign image recognition algorithm [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(2): 021001.
徐岩, 韦镇余. 一种改进的交通标志图像识别算法 [J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(2): 021001.
- [10] 杨万海. 多传感器数据融合及其应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [11] Wang Binming. Research on obstacle avoidance of mobile robot based on multi-sensor information fusion [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2006.
王斌明. 基于多传感器信息融合的移动机器人避障研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
- [12] Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots [C]. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1986: 500-505.
- [13] Huang Yanbiao, Luo Guangyue, He Mingjin. The application of BP neural network in patrol robot's multi-sensor data fusion [J]. Chinese Journal of Sensing Technology, 2016, 29(12): 1936-1940.
黄衍标, 罗广岳, 何铭金. BP 神经网络在巡逻机器人多传感器数据融合中的应用 [J]. 传感技术学报, 2016, 29(12): 1936-1940.
- [14] Wang Wenfeng, Ding Weili, Li Yong, *et al.* An efficient road detection algorithm based on parallel edges [J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(7): 0715001.

- 王文锋, 丁伟利, 李勇, 等. 一种高效的基于平行边缘的道路识别算法[J]. 光学学报, 2015, 35(7): 0715001.
- [15] Uddin M S, Shioyama T. Detection of pedestrian crossing using bipolarity feature - an image-based technique[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(4): 439-445.
- [16] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 2007, 9(1): 62-66.
- [17] Wang Min, Xiao Lei, Yang Fang. Blind road segmentation based on saliency detection and improved projective dictionary pair[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(4): 041001.
王民, 肖磊, 杨放. 基于显著性检测和改进投影字典对的盲道分割[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(4): 041001.
- [18] Wang Sukai, Pan Jinxiao, Chen Ping. Adaptive segmentation algorithm for CT image sequence based on structure continuity as prior information[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(11): 111006.
王苏恺, 潘晋孝, 陈平. 基于结构连续先验的CT图像序列自适应分割算法[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(11): 111006.
- [19] Yu Hongshan, Wang Yaonan. An improved Canny edge detection algorithm [J]. Computer Engineering & Applications, 2004, 40(20): 27-29.
余洪山, 王耀南. 一种改进型Canny边缘检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(20): 27-29.
- [20] Zhang Jianying, Zhao Zhiping, Liu Tun. Path planning method for mobile robot based on artificial potential field[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(8): 1306-1309.
张建英, 赵志萍, 刘瞰. 基于人工势场法的机器人路径规划[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(8): 1306-1309.