

DOI: 10.13382/j.jemi.B2205588

基于红外传感阵列的目标运动方向探测与识别研究*

税翔 陈丹 张衡 赵沛岩

(西安理工大学自动化与信息工程学院 西安 710048)

摘要:针对单个红外传感器无法获取障碍物距离之外的其他信息,本文设计了红外传感器阵列检测系统,不仅能探测运动目标距离信息还能识别目标的运动方向。当运动目标通过红外阵列时,该系统检测到红外反射回波信号转换为目标距离信息后,采用K-means聚类把运动目标信号从背景噪声中分离出来,再经过最小二乘拟合提取目标运动方向特征,最后通过分类器对8种不同运动方向进行有效感知分类。实验结果表明,该方法能够成功识别出目标的8种运动方向,当分类器参数 K 取值为5时,平均识别准确率达到0.83以上,试验结果验证了本文提出的基于红外传感器阵列对目标运动方向进行准确探测与识别的可行性,为实现多模态融合机器人动态避障奠定了基础。

关键词: 红外传感器阵列;K-means 聚类算法;目标运动方向;KNN 分类器;机器人动态避障

中图分类号: TP212.9;TP391.4 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5

Research on target moving direction detection and recognition based on infrared sensor array

Shui Xiang Chen Dan Zhang Heng Zhao Peiyan

(School of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: As a single infrared sensor cannot obtain other information beyond the distance of obstacles, this paper designs an infrared sensor array detection system, which not only detects the distance information of moving targets, but also identifies the moving direction of the target. When the moving target passes through the infrared array, the system detects that the infrared reflected echo signal is converted into the target distance information, uses K-means clustering to separate the moving target signal from the background noise, and then extracts the target motion direction features through least square fitting. Finally, eight different motion directions are effectively perceived and classified through the classifier. The experimental results show that the method can successfully identify eight moving directions of the target. When the classifier parameter K is 5, the average recognition accuracy is more than 0.83. The experimental results verify the feasibility of the proposed method based on infrared sensor array to accurately detect and identify the moving direction of the target, which lays a foundation for realizing dynamic obstacle avoidance of multimodal fusion robot.

Keywords: infrared sensor array; K-means clustering algorithm; target motion direction; KNN classifier; robot dynamic avoidance

0 引言

移动机器人主要通过自身携带的传感器采集周围环境信息进行环境感知。目前常用的传感器类型有超声波传感器、红外线传感器(infrared sensor, IR)和视觉传感器^[1]等。用于机器人避障的传感器主要包括激光雷达、红外传感器、超声波传感器和视觉传感器^[2],避障是通过

获取机器人所处的环境信息或者测量出机器人与障碍物之间的距离进行的^[3-4]。红外传感器使用方便、功耗低,可以安装在任何平台上,也可与其他类型的传感器结合使用。但是,红外传感器的非线性以及对物体反射率的依赖,使得其获得的测量结果可能不够精确。同时单一的红外传感器也无法获取距离之外的其他信息,这就可能使机器人因获得的障碍物信息单一、不准确,最终导致避障失败。

收稿日期: 2022-06-15 Received Date: 2022-06-15

* 基金项目: 榆林市科技计划(2019-146)、西安理工大学研究生培育项目(252051834)资助

近年来,红外传感器在移动机器人领域出现了许多研究。2011年,Duan等^[5]将红外传感器和视觉传感器采集信息融合后应用于避障系统。2012年,Kumpakeaw^[6]使用两种具有不同测量距离的红外传感器,设计了双红外传感器设备来探测周围的障碍物和环境信息。2014年,Hong等^[7]提出了一种基于低成本红外传感器和伺服电机旋转角的自主移动机器人环境地图构建方法,用于检测和避开障碍物。2015年,Ali等^[8]将多个红外传感器按不同角度安装在机器人上,根据传感器返回的数据信息控制机器人运动以避开障碍物。2017年,Zhou等^[9]将红外传感器阵列分布在清洁机器人上实现了无碰撞导航避障。2019年,Rathod等^[10]开发了一种障碍物检测系统,该系统中使用两种不同类型的红外传感器,记录的数据使小车在移动过程中避开障碍物。2020年,Al-Furati等^[11-12]通过使用固定在机器人上的红外传感器和在环境中规则分布的红外传感器阵列实现了机器人的定位和路径规划。但在路径规划时没有考虑动态障碍物及其运动方向,这导致机器人与动态障碍物之间的安全距离无法得到保证。

此外,热释电红外传感器(passive infrared ray, PIR)也被应用于障碍物检测识别中。徐晓冰等^[13]提出了一种基于PIR传感器的人体动作识别方法。Yun等^[14]采用3个PIR传感器模块用于检测行人运动方向、速度和距离。Gami等^[15]采用单个PIR结合菲涅尔透镜,对行人的移动方向进行了分类。De等^[16]提出了一种基于4个PIR传感器的检测系统,结合改进的多边界聚类(MCP)算法,可以识别室内环境中人体运动8种方向的检测。王召军等^[17]设计了一种基于红外阵列传感器的人体行为识别系统。Ma等^[18]提出了一种PIR传感器系统,利用压缩感知技术实现了静态人体检测方法。

上述方法中使用的PIR传感器主要针对目标的运动方向,或者运动状态进行检测与分类,然而PIR传感器是一种被动感知类型的传感器,其误报率与安装的位置和方式有极大的关系,而且对人体的敏感程度与人体的运动方向有关。同时,PIR传感器无法检测到非生命体征目标。

除红外传感器之外,其他类型传感器对行人(障碍物)检测也有相关的研究报道。Ghorpade等^[19]针对自主移动机器人,提出了一种基于二维激光雷达的高效障碍物检测与回避模型。Nagarajan等^[20]提出了一种基于单目视觉的鲁棒性障碍物检测和避障算法。Madhavan等^[21]使用一种低成本激光雷达,并从中获取数据设计了一种通过滤波、聚类技术获取障碍物信息的算法。Lyu等^[22]提出了一种基于激光雷达和摄像机融合的障碍物定位方法。Li等^[23]提出了一种基于三维激光雷达和视觉的障碍物信息检测算法。Yu等^[24]利用激光扫描仪和

深度摄像头检测行人,建立行人运动模型,实现基于多传感器融合的人体识别和运动预测。张浩等^[25]提出一种视觉与二维激光雷达的目标检测方,提高了移动机器人对目标物体的识别准确率。

目前,在移动机器人领域,单一IR传感器主要应用于检测静态障碍物。对动态障碍物如检测移动的行人,更多的是使用其他类型的传感器,如PIR传感器、激光雷达、视觉传感器等。IR传感器与激光雷达和视觉传感器相比,具有低成本、低功耗响应速度高等优点,而且使用IR传感器的数据计算量远小于激光雷达与视觉传感器。因此,本文选择采用IR传感器作为目标运动方向检测较为合理。但是单个红外传感器一般仅用于检测行人距离,因此将3个红外传感器构成传感器阵列,该阵列不仅能够检测动态障碍物的距离,还可对障碍物行人的运动方向进行探测与识别。该功能的实现有利于帮助移动机器人实现无碰撞导航,也可用于特定场景下的目标运动方向判别与目标探测。

1 红外传感器与行人运动检测

1.1 红外(IR)传感器

红外传感器类似于人类的视觉感官,可以用来检测障碍物,是实时检测中常用的传感器。本文所用的传感器型号是GP2Y0A710K0F,最小和最大探测距离为100和550 cm,基于三角测量原理如图1所示。

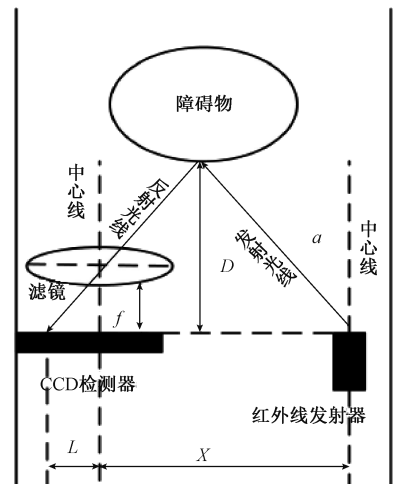


图1 三角测量原理^[26]

Fig. 1 Principle of triangulation^[26]

红外发射器按照一定的角度发射红外光束,当遇到物体之后,反射光束被CCD检测器检测后获得一个偏移值 L ,利用三角关系,通过发射角度 α 、偏移距离 L 中心距 X 以及滤镜的焦距 f ,根据几何关系可以计算传感器到物体的距离 D 。

本文采用的传感器输出电压与距离之间的关系如图 2 所示。在实际使用中,需要将模拟电压转换为距离值,电压与距离之间的转换公式如下:

$$\text{distance} = \frac{137.5}{\text{volts} - 1.125} \quad (1)$$

式中:distance 为距离,vlots 为电压。

根据官方使用手册测量距离为 100~550 cm,对应电压值在 1.375~2.5 V。

红外传感器时序图如图 3 所示。采用红外传感器进行测距时,得到电压输出约有 16.5 ms 延迟,说明本文在测量时考虑采集 1 s 之后的数据。

1.2 红外传感器阵列数据采集

本文采用 3 个传感器构成红外传感器阵列,其分布如图 4 所示。红外传感器间距为 20 cm,阵列中左右两侧

红外传感器距离地面高度为 78.5 cm,中间传感器距离地面 70 cm。

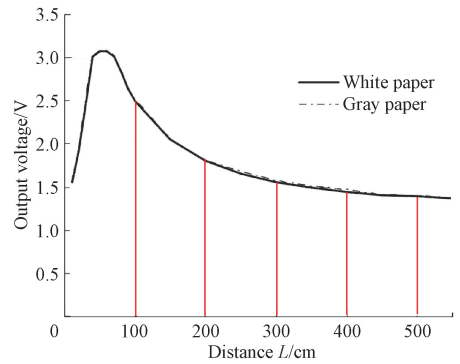


图 2 红外传感器电压与距离之间的非线性曲线
Fig. 2 Nonlinear curve between infrared sensor voltage and distance

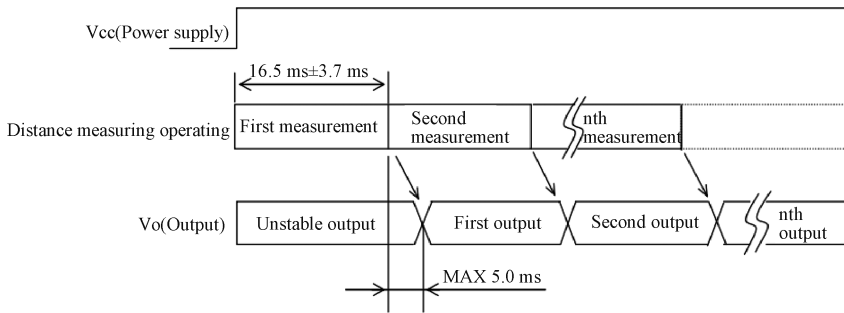


图 3 GP2Y0A710K0F 红外传感器时序图
Fig. 3 GP2Y0A710K0F infrared sensor timing chart

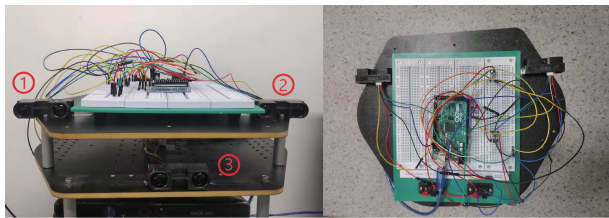


图 4 传感器阵列分布与测试装置图
Fig. 4 Sensor array distribution and test device diagram

设置传感器采样速率为 200 ms,即每个传感器每秒提取 5 个电压值,传感器输出的模拟电压通过 Arduino Mega 开发板转换为距离信息。本文设置背景距离约为 350 cm,因为红外传感器的测量范围在 100~550 cm,所以行人运动的有效检测范围为 100~350 cm 之间。

图 5 所示为行人相对于传感器阵列的运动方向示意图,共 8 种运动方向,用序号进行标识。图 6 表示行人通过红外传感器阵列后采集数据的散点图,其中正方形、三角形和星号分别表示左侧、中间和右侧传感器数据。图 6(a)表示的是行人垂直于传感器阵列行走(由近到远,

由远到近)。图 6(b)为行人平行于传感器阵列行走(由左到右,由右到左)。图 6(c)为行人移动方向与阵列成一定角度行走(由左到右且近到远,由远到近)。图 6(d)为行人移动方向与阵列成角度范围内行走(由近到远,由远到近)。

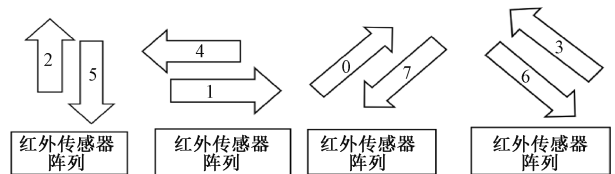


图 5 行人 8 种运动方向示意图
Fig. 5 Schematic diagram of eight directions of pedestrian movement

2 红外传感器与行人运动检测

目标运动方向特征提取与识别算法流程如图 7 所示。根据行人运动范围,首先采用 K-means 算法对阵列

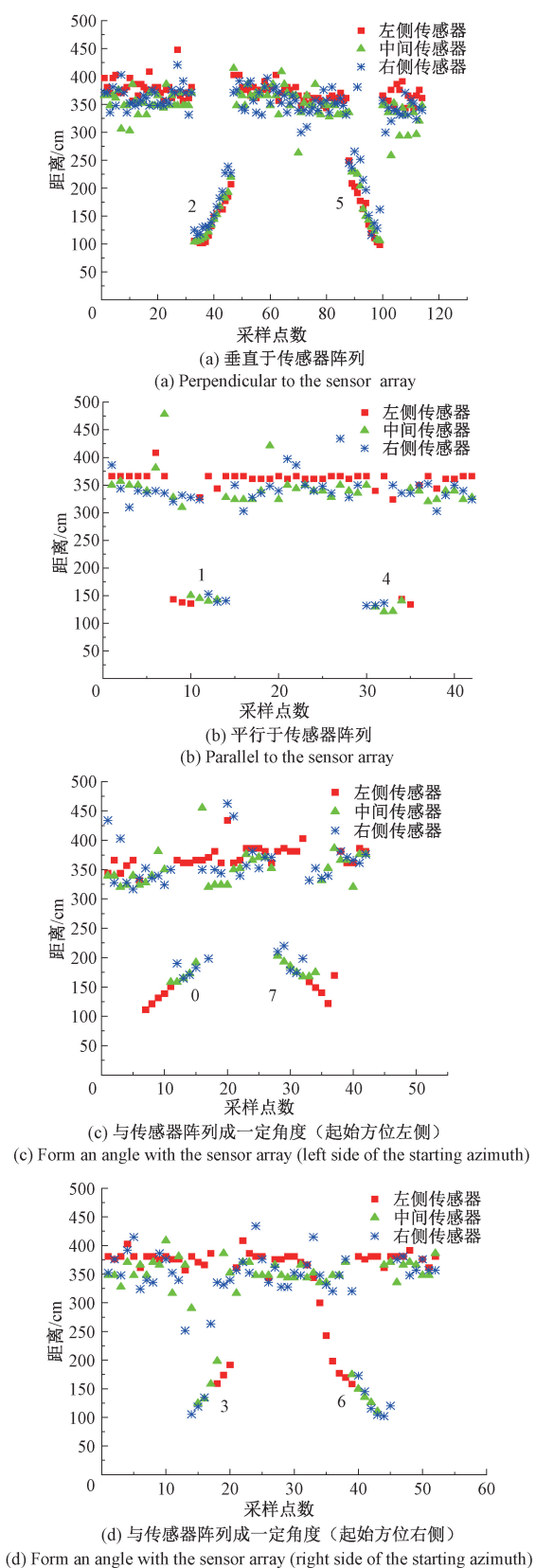


图 6 行人不同运动方向数据散点图

Fig. 6 Data scatter map of different sports directions of pedestrians

采集数据进行聚类预处理。然后采用最小二乘拟合方法提取能够表征行人运动距离和方向的特征信息,其中,斜率表示阵列与行人之间的距离,左右两侧传感器数据采集起始时间差表示行人运动方向。最后采用 KNN 分类器对行人不同运动方向进行识别分类。

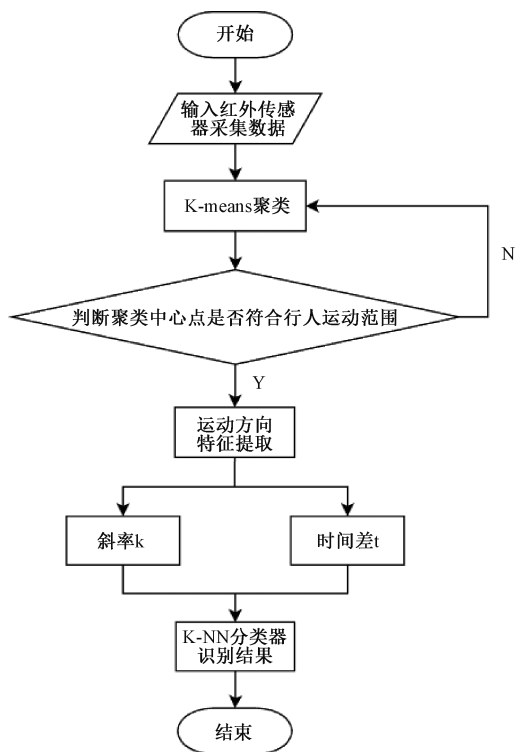


图 7 运动方向特征提取及识别

Fig. 7 Sports direction feature extraction and recognition

2.1 特征提取

对传感器阵列采集的行人运动数据进行特征提取之前,先采用 K-means 算法进行聚类预处理,把运动目标信号从背景噪声中分离出来,以获取符合目标运动范围的数据。K-means 算法是通过不断迭代求解的聚类算法,根据聚类函数将数据分为 n 类,以距离作为相似度的依据,距离越小的两个点,则相似度越大。K-means 聚类的目标是使总体群内平方误差函数最小。

K-means 算法在实际中会陷入局部最优的问题,针对该问题,本文在 K-means 聚类结束之前对聚类中心坐标进行判断,若只有一个聚类中心点在行人运动的有效检测范围内则输出聚类结果,相反如果存在两个聚类中心点均在有效检测范围内,则进行初始中心点的重新选取,直至满足判断条件为止。如果聚类结果存在两个聚类中心均在有效检测范围内,那么这样的聚类结果多半是将带有行人移动特征的数据割裂,从而导致提取到的带有行人运动信息的特征数据不完整。

采用 K-means 聚类提取数据之后,开始进行聚类数

据的特征提取。特征包括采用最小二乘法对数据直线拟合得到的斜率 k ，以及左右两侧传感器数据聚类中心点坐标时间差 t 。斜率 k 可表征行人通过传感器阵列时，与传感器阵列的相对位置关系，也就是行人与阵列之间的距离变化情况。而特征值时间差 t 表示了特征行人的运动方向。

传感器所采集的行人运动 8 种不同方向数据所对应的特征提取信息如表 1 所示。

表 1 不同方向特征信息

Table 1 Feature information in different directions

方向类别	0	1	2	3	4	5	6	7
斜率 k	>0	=0	>0	>0	=0	<0	<0	<0
时间差 t	<0	<0	=0	>0	>0	=0	<0	>0

本文采集了共 350 组行人运动方向数据，图 8 为经过特征提取后，不同运动方向特征值 k 和 t 在二维空间中形成的散点图，横轴为时间差 t ，纵轴表示直线拟合斜率 k 。由图 8 可以看出不同方向特征值的范围区间，根据计算出的特征值结合表 1，可以获得每种运动方向都有其相应的范围，从而可对不同的运动方向分类。

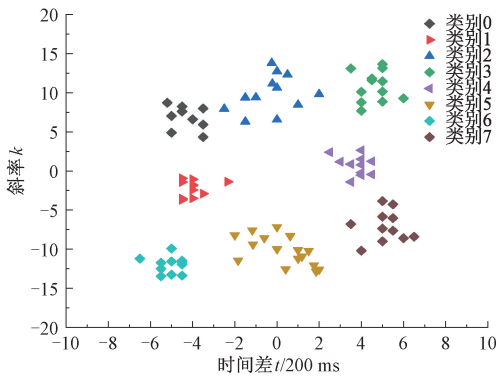


图 8 二维特征空间图

Fig. 8 Two-dimensional special sign space map

2.2 KNN 分类

KNN 算法是取测试样本 x 的 n 个近邻，看这 K 个近邻中多数属于哪一类，就把 x 归属为哪一类。该算法的优点在于易于开发构造和计算复杂度低。

设 N 个样本中，来自 ω_1 类的样本有 N_1 个，来自 ω_2 类的样本有 N_2 个，来自 ω_c 类的样本有 N_c 个，若 K_1, K_2, \dots, K_c 分别是 K 个近邻中属于 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_c$ 类的样本数，则可以定义判别函数为：

$$g_i(x) = K_i, i = 1, 2, \dots, c \quad (2)$$

决策规则为如果满足下式：

$$g_j(x) = \max_i K_i \quad (3)$$

则决策 $x \in \omega_j$ 。当 $K = 1$ 时即为最近邻法。

3 实验与结果分析

本文采用红外传感器阵列共采集行人的 8 种运动方向共 350 组数据样本，其中随机选取 110 组作为测试集，其余的 240 组为训练集。对所有样本通过 K-means 聚类、特征提取以及 KNN 分类，最后获得行人运动方向的正确识别率。

行人通过红外传感器阵列时采集到的部分原始数据如表 2 所示。由表 2 可以看出左侧传感器反馈的距离值最先发生较大变化，随后是中间最后是右侧传感器。说明行人运动方向为左侧进入右侧再离开。此外 3 个传感器采集到的数据在行人进入采集范围之后，逐渐增大直到行人离开采集范围。例如右侧传感器在行人进入之后测量距离值为 166.64~198.36 cm，说明行人在逐渐远离红外传感器阵列，因此，基于时间和距离变化情况可预测行人运动方向为左到右距离从近到远。

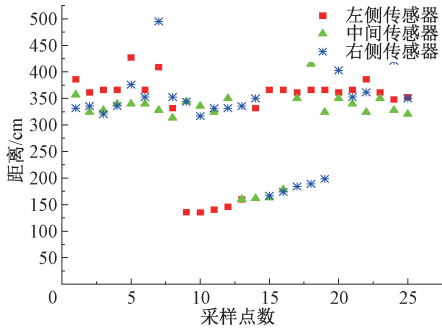
表 2 每个传感器的数据方向左到右距离近到远

Table 2 The data direction of each sensor to the right to the right to the right

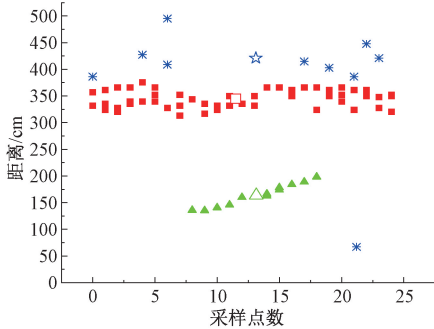
时间/s	左传感器/cm	中间传感器/cm	右传感器/cm
1.0	366.19	339.66	352.43
1.2	408.75	327.79	495.07
1.4	331.65	313.19	352.43
1.6	136.02	343.81	343.81
1.8	135.37	335.61	316.72
2.0	140.79	324.01	331.65
2.2	145.9	350	331.65
2.4	160	160	335.61
2.6	331.65	161.84	350
2.8	366.19	162.78	166.64
3.0	366.19	178.25	173.85
3.2	361.48	350	184.08
3.4	366.19	414.78	189.03
3.6	366.19	324.01	198.36
3.8	361.48	350	402.9
4.0	366.19	339.66	352.43
4.2	386.3	324.01	361.48
4.4	361.48	350	447.79
4.6	348.07	327.79	420.99
4.8	352.43	320.32	350

将表 2 中红外传感器阵列采集到的数据绘制成散点图如图 9(a) 所示。图 9(b) 表示的是当聚类参数 $K = 3$ 时的聚类效果图，其中三角形的簇是符合运动范围的带有行人运动特征信息的簇。对该特征信息簇进行最小二乘直线拟合如图 9(c) 所示，可获得拟合直线斜率 $k = 6.4856$ ，该斜率可表征行人运动方向其中的一个特征

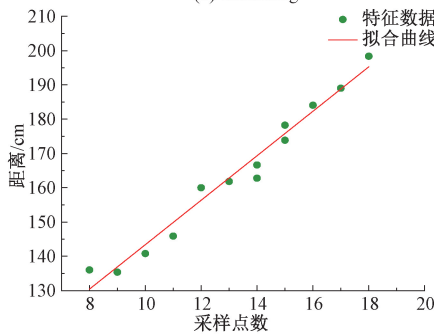
值。图 9(d) 和(e) 分别是红外传感器阵列左侧和右侧传感器采集到的原始数,通过聚类算法形成的簇,两侧红外传感器聚类后提取符合行人运动范围的聚类中心点分别为(10.0,143.616)和(16.0,182.392),左侧和右侧聚类中心点横坐标做差,可得到时间差 $t = -6$,该时间差值 t 可表示行人进入传感器阵列时的方位信息。



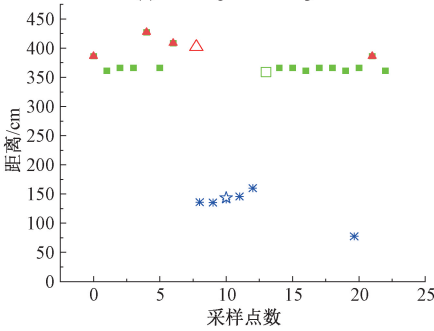
(a) 原始数据
(a) Original data



(b) 聚类
(b) Clustering



(c) 最小二乘拟合
(c) Least squares fitting



(d) 左侧传感器聚类
(d) Left sensor cluster

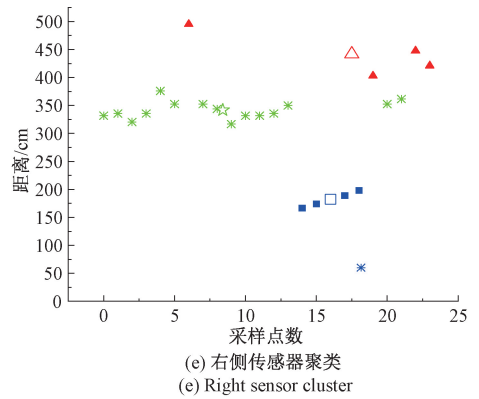


图 9 数据特征提取步骤

Fig. 9 Data feature extraction steps

根据图 9 所示流程进行数据特征提取得到二维特征值 (k, t) 后,采用 KNN 分类器进行识别,当分类器参数 K 取 2~8 时,平均识别准确率如图 10 所示。经过多次实验发现分类器参数 $K=5$ 时分类效果最好,此时各运动方向的平均识别准确率如表 3 所示。

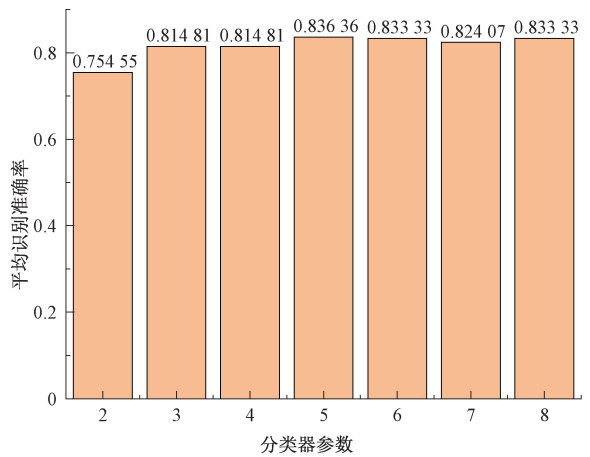


图 10 分类器参数不同取值下的平均识别准确率

Fig. 10 Average recognition accuracy under different values of classifier parameters

由表 3 可以看出类别 0 分类效果最好,准确率为 100%,类别 3,6 和 7 的分类准确率也达到了 90% 以上。另外,类别 2 (垂直传感器阵列与传感器阵列距离由近到远)中有些样本被识别为类别 0 (行人移动方向左到右与传感器阵列距离由近到远)。这是因为类别 2 和类别 0 的数据差别体现在时间差 t 上,类别 2 数据的时间差特征趋近于 0 但并不等于 0,如果行人移动速度过快,导致距离变化过快,所以会出现时间差值特别小而斜率特别大的情况,这样就使得类别 2 所代表的运动方向很容易与类别 0 代表的运动方向混淆,但是总体上来讲分类准确率会随着样本数据的增加而提高。

表 3 $K=5$ 时不同方向识别率Table 3 Recognition rate of different directions when $K=5$

类别	0	1	2	3	4	5	6	7
0	15	2	3	0	0	0	0	0
1	0	13	0	0	0	1	1	0
2	0	0	9	1	0	0	0	0
3	0	0	2	14	3	0	0	0
4	0	0	0	0	8	0	0	1
5	0	0	0	0	0	10	0	0
6	0	0	0	0	1	2	14	0
7	0	0	0	0	0	1	0	9
准确率	1	0.867	0.643	0.933	0.667	0.714	0.933	0.9

4 结 论

红外传感器在机器人领域有广泛的应用,具有低成本、低功耗和极快的响应速度的优点。本文采用红外传感器阵列检测运动目标多种不同的运动方向。对原始采集数据进行 K-means 聚类分析,把目标信号从背景噪声中分离出来,再采用最小二乘拟合法得到目标距离变化直线斜率,同时通过不同方向类别的聚类中心获取左右两端传感器开始采集数据时间差。将含有斜率和时间差的二维特征输入 KNN 分类器进行运动方向分类识别。实验结果表明本文所设计的基于红外传感阵列对目标运动方向进行检测的方法能够成功识别出行人的不同运动方向。在今后的研究中,将进一步针对运动机器人应用场景,开展采用红外传感器与其他类型传感器如激光雷达和视觉传感器进行信息融合,进行动态行人(或动态障碍物)检测,辅助实现复杂环境下移动机器人无碰撞智能导航。

参考文献

- [1] 余铎,王耀南,毛建旭,等. 基于视觉的移动机器人目标跟踪方法[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(1): 227-235.
YU D, WANG Y N, MAO J X, et al. Vision based mobile robot target tracking method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(1): 227-235.
- [2] 雷皓玮,林晓焕. 一种混合单目视觉 SLAM 系统研究[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(9): 90-96.
LEI H W, LIN X H. Research on a hybrid monocular vision SLAM system [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2019, 38(9): 90-96.
- [3] 李志锟,黄宜庆,徐玉琼. 改进变步长蚁群算法的移动机器人路径规划[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(8): 15-21.
LI ZH K, HUANG Y Q, XU Y Q. Path planning for

mobile robots based on improved variable step size ant colony algorithm [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2020, 34(8): 15-21.

- [4] 梁凯,毛剑琳. 基于改进蚁群算法的移动机器人动态路径规划[J]. 电子测量技术, 2020, 43(7): 56-60.
LIANG K, MAO J L. Mobile robot dynamic path planning based on improved ant colony algorithm [J]. Electronic Measurement Technology, 2020, 43(7): 56-60.
- [5] DUAN S, LI Y, CHEN S, et al. Research on obstacle avoidance for mobile robot based on binocular stereo vision and infrared ranging [C]. IEEE, 2011: 1024-1028.
- [6] KUMPAKEAW S. Twin low-cost infrared range finders for detecting obstacles using in mobile platforms [C]. Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2012 IEEE International Conference on. IEEE, 2012.
- [7] HONG D E, JEON J W. Environment map building using low-cost IR sensors and a servo motor for mobile robot [C]. IEEE International Symposium on Consumer Electronics. IEEE, 2014.
- [8] ALI T Y, ALI M M. Robotino obstacles avoidance capability using infrared sensors [C]. Applied Electrical Engineering & Computing Technologies. IEEE, 2015: 1-6.
- [9] ZHOU Y, SUN R, YU S, et al. An obstacle avoidance method based on non-radial arrangement of distance sensors for vacuum cleaning robot [C]. IEEE International Conference on Robotics & Biomimetics. IEEE, 2017.
- [10] RATHOD S M, APTE S K. Obstacle detection using sensor based system for a four wheeled autonomous electric robot [C]. 2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). IEEE, 2020.
- [11] AL-FURATI I S, RASHID A T. Shortest distance orientation algorithm for robot path planning using low-cost IR sensor system [C]. 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE), 2020.
- [12] AL-FURATI I S, RASHID A T. An algorithm for indoor Robot Path Planning Using Low-Cost IR sensor array system [C]. 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE), 2020.
- [13] 徐晓冰,左涛涛,孙百顺,等. 基于热释电红外传感器的人体动作识别方法[J]. 红外与激光工程, 2022, 51(4): 391-398.

- XU X B, ZUO T T, SUN B SH, et al. Human motion recognition method based on pyroelectric infrared sensor [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2022, 51 (4): 391-398.
- [14] YUN J, LEE S S. Human movement detection and identification using pyroelectric infrared sensors [J]. *Sensors*, 2014, 14(5): 8057-8081.
- [15] GAMI H. Movement direction and distance classification using a single pyroelectric IR sensor [J]. *IEEE Sensors Letters*, 2017, 2(1): 1-4.
- [16] DE P, CHATTERJEE A, RAKSHIT A. PIR sensor based AAL tool for human movement detection: Modified MCP based dictionary learning approach [J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2020, 69(10): 7377-7385.
- [17] 王召军, 许志猛, 陈良琴. 基于红外阵列传感器的人体行为识别系统研究 [J]. *红外技术*, 2020, 42(3): 231-237.
- WANG ZH J, XU ZH M, CHEN L Q. Research on human behavior recognition system based on infrared array sensor [J]. *Infrared Technology*, 2020, 42(3): 231-237.
- [18] MA R, HU F, HAO Q. Active compressive sensing via pyroelectric infrared sensor for human situation recognition [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2016, 47(12): 3340-3350.
- [19] GHORPADE D, THAKARE A D, DOIPHODE S. Obstacle detection and avoidance algorithm for autonomous mobile robot using 2D LiDAR [C]. 2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCCBEA), 2017.
- [20] NAGARAJAN V R, SINGH P. Obstacle detection and avoidance for mobile robots using monocular vision [C]. 2021 8th International Conference on Smart Computing and Communications (ICSCC), 2021.
- [21] MADHAVAN T R, ADHARSH M. Obstacle detection and obstacle avoidance algorithm based on 2-D RPLiDAR [C]. 2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), 2019.
- [22] LYU K, HU J, ZHAO C, et al. Multi-sensor fusion based obstacle localization technology [C]. 2020 IEEE 16th International Conference on Control & Automation (ICCA). IEEE, 2020.
- [23] LI J, YU L, WANG J, et al. Obstacle information detection based on fusion of 3D LADAR and camera [C]. 2017 36th Chinese Control Conference (CCC). IEEE, 2017: 5242-5246.
- [24] YU D, LI J, YAN W. Research on human body detection and trajectory tracking algorithm based on multi-sensor fusion [C]. 2021 5th International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS). IEEE, 2021: 211-215.
- [25] 张浩, 左杭, 刘宝华. 视觉与二维激光雷达的目标检测方法 [J]. *电子测量与仪器学报*, 2022, 36(3): 79-86.
- ZHANG H, ZUO H, LIU B H. Target detection method of vision and two-dimensional laser radar [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2022, 36(3): 79-86.
- [26] 曾凯. 基于光流法的移动机器人避障研究 [D]. 唐山: 华北理工大学, 2017.
- ZENG K. Obstacle avoidance of mobile robot based on optical flow method [D]. Tangshan: North China University of Technology, 2017.

作者简介



税翔, 现为西安理工大学硕士研究生, 主要研究方向为移动机器人动态避障。

E-mail: 1085941023@qq.com

Shui Xiang is a now M. Sc. candidate at Xi'an University of Technology. His main research interest includes mobile robot dynamic obstacle avoidance.



陈丹(通信作者), 2005年于西北工业大学获得硕士学位, 2011年于西安理工大学获得博士学位, 现为西安理工大学, 副教授, 主要研究方向为机器人智能信号处理。

E-mail: chdh@xaut.edu.cn

Chen Dan (Corresponding author) received her M. Sc. degree from Northwestern Polytechnical University in 2005 and Ph. D. degree from Xi'an University of Technology in 2011, respectively. She is now an associate professor in XAUT. Her main research interests include robot intelligent signal processing and optical communication.