DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2020.05.011

刘玲[1]　靳伍银[1]　王洪建[2]

基于 STM32 自动网球拾取机器人设计

摘要

针对网球场捡球工作量大的问题，开发了一款基于 STM32 的智能自动小型移动网球拾取机器人，规避了现存网球机器人结构庞大、灵活性差、效率低的问题.通过构建机器人三维模型，设计了一款造价低廉、高精密的小型移动网球拾取机器人.采用质心法获取目标物坐标信息，在机器视觉模块与双机械臂机构协同下，采取多行走舵机与万向轮协同实现机器人自动寻找目标、完成拾取、归集网球等动作.实验结果表明机器人能很好地完成以上功作，且拾取速度快，精确度达到 98%.

关键词

机器视觉；双机械臂；质心法；网球拾取机器人；STM32

中图分类号 TP242

文献标志码 A

收稿日期 2020-06-20

资助项目 重庆市中小学创新人才培养工程(CY190802)

作者简介

刘玲，女，硕士生，研究方向为人工智能与机器视觉.932289110@ qq.com

1　兰州理工大学　机电工程学院，兰州，730050

2　重庆工商大学　机械工程学院，重庆，400067

0　引言

随着网球运动的不断发展，加入网球运动项目的人越来越多，规模不等的比赛也非常多[1].网球比赛或训练时，一般是人工捡球，劳动强度大、工作效率低.目前从事网球拾取的球童数量少[2].Gu 等[3]提出了一种利用 TSP 进行路径规划，使用 YOLO 作为网球识别的模型来实现机器人的自主捡球.温秀兰等[4]提出了一种改进的粒子群算法应用在机器人的几何参数标定中，提高了六自由度机器人末端绝对定位精度.Yasaswy 等[5]采用红外发光二极管和 ATMEG32 单片机实现自主拾取网球的整个过程.Zhao 等[6]利用模糊控制和超声波传感器对目标进行避让，配合计算机视觉对网球进行自动检测和跟踪.目前捡球方式分为两种，一种是设计机械手抓取球；另一种为仿吸尘器原理将球吸进腔中[7-10].考虑到网球质量、体积较大，多采用第一种方式进行抓取.现有的网球捡球机器人[11]采用叶轮旋转产生足够大的力和惯性使球上升并落入后框[12]，但由于内轮与网球接触面积较小，力矩大小难保证，故抓取精度低、失误率高；同时，捡球机器人为履带式行走方式，在网球场馆平地内显得非必要且速度不高.基于以上问题，本文设计了一款小型的双机械臂网球拾取机器人，实验结果表明机器人的抓取精度可达 98%.

1　机器人总体方案设计

本机器人系统由本体、双机械臂、摄像头、控制器、行走机构、图像处理及双抓取机构等构成.网球拾取机器人工作时，摄像头用于识别网球，捕捉到网球的具体位置坐标反馈给控制中心，控制中心驱动电机轮子向最近的一个目标物靠近，当目标物的面积达到起初设置的值时机器人停止前进，再驱动两个三自由度的机械臂协同合作，同时向目标物靠近并准确拾取网球，放置于储球装置中，完成一次拾取工作.摄像头低端设计有一个自由度，当完成第一次拾取工作后可自动旋转，开始第二次寻找、识别以及拾取网球，依次类推实现机器人拾球工作.图 1 所示为总体设计框图.

机器人三维模型结构如图 2 所示.机身共有两层，分为机身上板和机身下板，两板之间放置 STM32 控制器及电源模块，机身上下板呈六边形，其中六个角分别对称位于机身左右两侧，行走机构分为两个轮子和一个万向轮，三点支撑整个机器人，稳定性可靠.

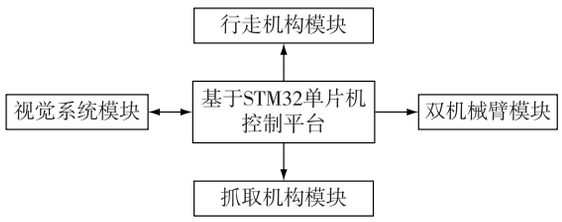


图 1　总体设计框图

Fig. 1　Block diagram of general design

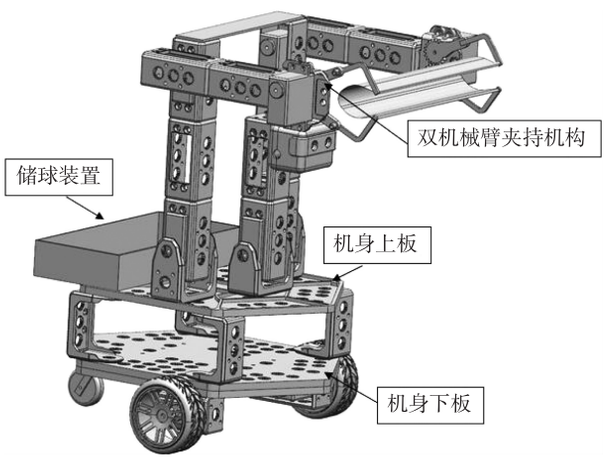


图 2　机器人三维模型

Fig. 2　3D model of the proposed robot

双机械双抓手结构如图 3 所示.抓取机构的两机械手位于小臂末端,包括左右夹钳.两夹钳首端依靠齿轮连接定位,左右夹钳各有一抓取舵机,其输出端连接抓取底盘,两个抓取舵机共同控制两个机械手作用在两根杠杆上实现杠杆的合拢抓取动作.因网球为圆形,传统机械手夹持容易滑落且作用范围窄、工作效率低,使用双机械臂双手爪使抓取范围扩大,同时执行机构末端设置两杠杆带动夹持器对网球进行拾取,抓取精度也得到进一步提高.

2　软件控制系统实现

2.1　系统硬件设计

硬件系统包括 STM32103VCT6 单片机控制器、电源模块、视觉系统模块及舵机控制驱动模块.其中舵机由减速齿轮、舵盘、直流电机、控制电路和位置反馈电位计等组成,通过 Keil uVision4 编译程序控制电机转动速度来控制机器人的方位、前进的速度以及双机械臂各关节舵机的角度和速度,达到调整各关节伸长长度、双机械臂高度的目的.

STM32103VCT6 单片机控制器配置有 16 路 A/D 接口用于摄像头等传感器数据输入,6 路输出接口

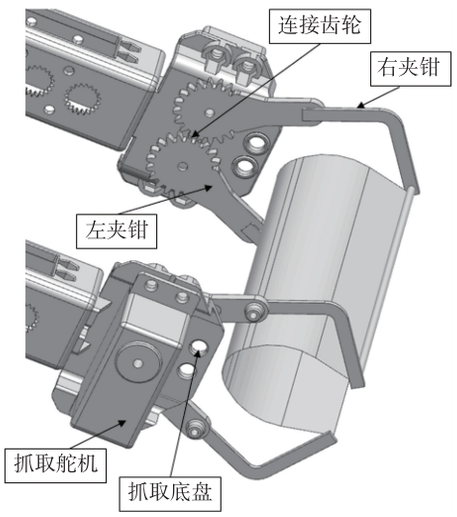


图 3　双机械臂抓取结构

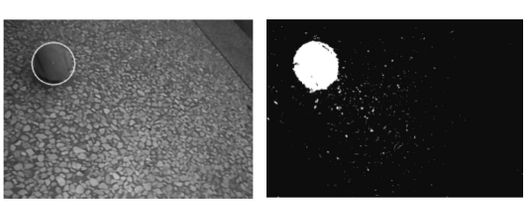
Fig. 3　Grabbing structure with double mechanical arms

用于驱动舵机等外设,且拥有大量的外设 I/O 接口可连接和驱动实现指定功能所需的各类传感器与外设设备[13].

视觉系统采用 Logitech C170 型免驱动摄像头,分辨率为 1 024×768,像素 130 万,与 STM32 单片机配合使用.

2.2　系统软件设计

机器人采用 C 语言进行环境开发,将捕捉到的目标物去除其他像素点的干扰,按像素点集中区域,求取目标物中心坐标位置,视觉系统采用像素坐标系,图像是以左上角为坐标原点,横向向右,竖向向下为正方向的坐标的像素点阵,X-Y 的上限坐标是 640 像素×480 像素,将采集的图像进行区域划分.图 4 所示图像质心计算的具体值为 $X=172$,$Y=225$.对摄像头采集的图像使用如图 5 所示模块进行区域划分,检测目标物出现在某一区域中,则执行对应区域的指令.



a. 原识别图　　b. 像素位置坐标定位

图 4　质心法目标定位

Fig. 4　Target recognition (a) and pixel coordinate location (b)

机器人拾取速率指的是机器人的移动速度,也可用机器人电机的转速表示,转速越快,机器人的移

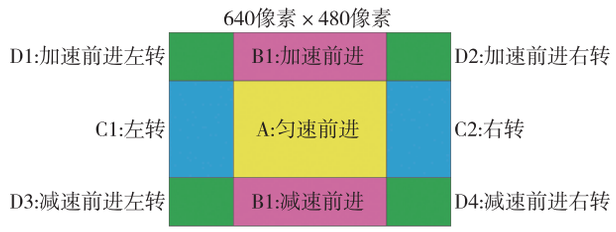


图5 图像区域指令划分

Fig. 5 Image area commands

动速度越快.如图5所示期望目标物坐标始终保持在A区域,当目标物落入不同的区域时,则根据指令进行相应的运动.同时计算捕捉到的像素点面积大小来判断与目标物之间的距离,面积越大,距离越近,如图4所示,此时的目标物面积为63.198.摄像头把目标物的定位信息以及距离信息反馈给控制中心,控制中心根据反馈回来的坐标信息进行判断,决定机器人接下来的移动路径.目标物坐标确定后,拾球机器人会根据坐标信息向目标物靠近,当目标物的面积达到一定值时(即达到适合抓取的距离 $d=60$ cm)触发双机械臂双手爪关节舵机,对目标物进行拾取并准确放置于机器人储物筐内,完成一次拾取工作.其系统总体框架如图6所示.

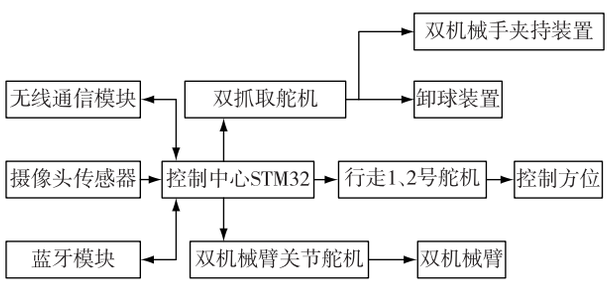


图6 系统总体硬件框图

Fig. 6 System hardware blocks

摄像头低端设置有一个自由度,摄像头连接处有一个自由度,摄像头本身自带一个自由度,便于网球场范围内自动转动摄像头寻求目标.当有多个目标出现时,根据反馈回来的目标物面积大小,按从大到小的顺序依次拾取,从而完成目标物定位、拾取与储存的工作.

经图像处理后,对网球目标物进行面积、质心计算,其中质心法是图像能量密度函数一阶空间矩和零阶空间矩的比值[14].假设图像内单个目标物的质心坐标为 (X_c,Y_c),该位置可由图像灰度值质心计算得:

$$\begin{cases} X_c=\dfrac{\iint_D xG(x,y)\,\mathrm{d}x\mathrm{d}y}{\iint_D G(x,y)\,\mathrm{d}x\mathrm{d}y}, \\ Y_c=\dfrac{\iint_D yG(x,y)\,\mathrm{d}x\mathrm{d}y}{\iint_D G(x,y)\,\mathrm{d}x\mathrm{d}y}, \end{cases} \tag{1}$$

式中,X_c,Y_c 是计算所得质心坐标,x,y 分别是图像的横纵坐标,D 为限定积分区域,是已知的,即图像尺寸大小由C170摄像头视场确定.$G(x,y)$ 指每个像素点的灰度值,也称图像灰度函数.

上述积分为连续积分,但C170摄像头得到的图像实际是离散的,只能得到 $G(x,y)$ 在像素点位置的采样值,故用质心法时,式(1)做近似推导变为式(2)的形式:

$$\begin{cases} \bar{Y}_c=\dfrac{\sum_{K=1}^{n} x_K G_K}{\sum_{K=1}^{n} G_K}, \\ \bar{Y}_c=\dfrac{\sum_{K=1}^{n} y_K G_K}{\sum_{K=1}^{n} G_K}, \end{cases} \tag{2}$$

这里将连续积分变为累加和的形式,图像由 n 个像素组成,$(\bar{X}_c,\bar{Y}_c)$ 为质心坐标,(X_k,Y_k) 为第 K_{ij} 个像素点坐标,G_k 为第 K_{ij} 个像素点灰度函数采样值.C170摄像头采集图像像素是已知的,为1 024×768.即每张图像的每个像素点坐标都可以确切表示,由此可得:

$$\begin{cases} \bar{X}_c=\dfrac{\sum_{i=1}^{x}\sum_{j=1}^{y} iG[i,j]}{\sum_{i=1}^{x}\sum_{j=1}^{y} G[i,j]}, \\ \bar{Y}_c=\dfrac{\sum_{i=1}^{x}\sum_{j=1}^{x} jG[i,j]}{\sum_{i=1}^{x}\sum_{j=1}^{y} G[i,j]}, \end{cases} \tag{3}$$

其中,i,j 分别为各像素点的横纵坐标,$G(i,j)$ 为图像的灰度值,$\bar{X}_c,\bar{Y}_c$ 分别为质心的横纵坐标.

对每帧图像的目标进行位置坐标计算,通过判断质心点在屏幕中的位置为网球机器人提供方向导航[15].机器人获取网球目标物(X_c,Y_c)位置信息,将获取到的位置信息通过A/D端口反馈给控制中心.

3 寻找目标物质心实验验证与分析

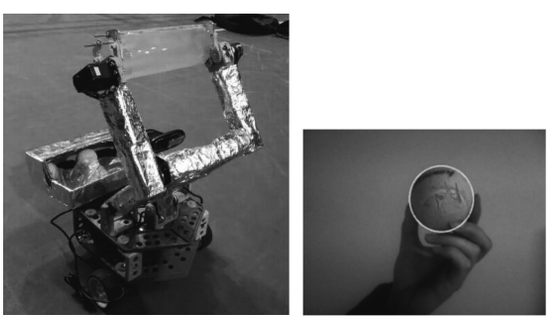
对开发的智能全自动小型移动拾球机器人进行多种场合测试实验,机器人可在不同环境下准确识别和定位网球位置,能有效追踪并利用双机械臂双手爪对目标进行抓取以及顺利完成网球的放置工作.机器人相机视场为 1 024×768,所测目标物质心坐标、舵机偏转角度及电机输出占空比等实验数据采样值如表 1 所示.

表 1 实验数据采样值

Table 1 Sample values of experimental data

机器人运动方式	目标物质心坐标	电机速度/(r/min)		舵机角/(°)			舵机速度/(r/min)			机器人与目标物距离/cm
		1 号	2 号	4 号	5 号	6 号	4 号	5 号	6 号	
前进	(320,300)	320	-320	352	563	185	10	22	0	256
右转	(547,137)	-350	-350	352	563	185	9	18	0	206
左转	(152,245)	450	450	352	563	185	10	19	0	152
前进	(330,350)	300	-300	352	563	185	10	20	0	106
前进	(322,309)	250	-250	352	563	185	11	19	0	86

机器人的工作状态如图 7a 所示,成功捕捉到目标物如图 7b 所示.随机在场馆放 50 个球进行多次实验,记录机器人开始工作后的时间、拾球个数,测试结果如图 8 所示.场馆球数越多,机器人移动速度就越慢,随着地上网球数量越来越少,机器人的移动速度会有所增加.实验结果表明拾球机器人抓取精度能达到 98%.



a. 实物测试 b. 目标捕捉

图 7 实物测试及目标捕捉图

Fig. 7 Robot under test (a) and target capture (b)

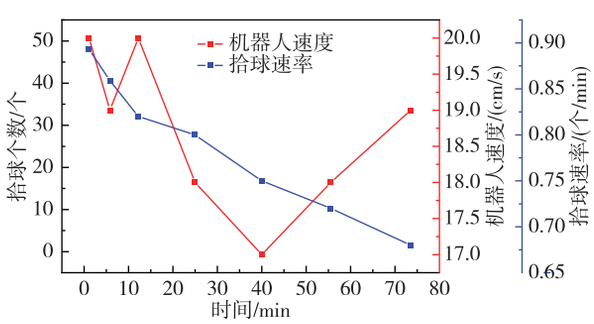


图 8 测试结果

Fig. 8 Test results

4 结论

1)通过构建机器人三维模型设计,分析结构特征,设计了一款全自动小型移动拾球机器人.

2)机器人基于视觉识别系统,以摄像头作为眼睛,结合视觉识别与双机械臂双手爪控制技术,采用质心法对目标物进行识别并拾取,实现机器人自主寻球、拾球、卸球等动作.

3)根据网球的形状特征设计的双机械臂抓取机构能扩大抓取范围,能有效抓取网球等圆状类目标.

本文旨在解决网球运动员训练以及比赛中出现的捡球效率低问题,规避了现有网球机器人结构庞大的缺点.通过实验验证,结果表明所设计的机器人能有效解决捡球问题,抓取精度达到 98%.

参考文献

References

[1] 蒋倩芸,王继承.自主式网球拾取机器人系统[J].山东工业技术,2018(15):130-131
JIANG Qiangyun,WANG Jicheng.Autonomous system of tennis pickup robot[J].Shandong Industrial Technology,2018(15):130-131

[2] 赵精茹,肖文龙.北京市网球球童发展现状的调查与研究[J].运动,2010(2):60-61
ZHAO Jingru,XIAO Wenlong.Investigation and research on the development of tennis caddies in Beijing[J].Sport,2010(2):60-61

[3] Gu S S,Chen X Y,Zeng W,et al.A deep learning tennis ball collection robot and the implementation on NVIDIA jetson TX1 board[C]//2018 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics,2018:170-175

[4] 温秀兰,吕仲艳,贺顺,等.基于改进粒子群算法的机器人几何参数标定研究[J].南京信息工程大学学报

(自然科学版),2019,11(2):144-150
WEN Xiulan, LÜ Zhongyan, HE Shun, et al. Study on robot geometric parameters calibration based on improved particle swarm algorithm [J]. Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science Edition),2019,11(2):144-150

[5] Yasaswy J,Sachdeva A,Mary G.Autonomous ball grabber robot [C] // 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics,Information & Communication Technology,2016:1235-1239

[6] Zhao J L,Ma H,Shi J,et al.Introduction and initial exploration to an automatic tennis ball collecting machine [C] // IEEE/European Conference on Mobile Robots,2017:6-8

[7] 刘仕文.自动拾取乒乓球机器人的机械结构设计[J].科技创新与应用,2019(9):1-8
LIU Shiwen. Mechanical structure design of automatic pick-up table tennis robot[J].Technology Innovation and Application,2019(9):1-8

[8] 卫静婷,陈利伟,陈祥红.一种基于STM32的智能乒乓球捡球小车的设计[J].江西电力职业技术学院学报,2019,32(5):15-16
WEI Jingting,CHEN Liwei,CHEN Xianghong.Design of an intelligent table tennis pick-up car based on STM32 [J].Journal of Jiangxi Vocational and Technical College of Electricity,2019,32(5):15-16

[9] 张行,石晶,丁华锋,等.新型自主乒乓球收集机器人设计研发[J].机械研究与应用,2019,32(5):143-145
ZHANG Xing,SHI Jing,DING Huafeng,et al.Design of a new automatic table tennis collecting robot [J]. Mechanical Research and Application, 2019, 32(5): 143-145

[10] 许东伟,刘建群,林淦.乒乓球捡球机器人的设计与实现[J].机床与液压,2014,42(3):16-19,50
XU Dongwei, LIU Jianqun, LIN Gan. Design and realization of table tennis picking robot[J].Machine tool and hydraulics,2014,42(3):16-19,50

[11] 吴伟键,曾毅杰,冯贵斌.智能网球收球机器人系统[J].科技视界,2019(5):90-91
WU Weijian, ZENG Yijie, FENG Guibin. Intelligent tennis ball collection robot system[J].Science and Technology Vision,2019(5):90-91

[12] 宋安琦,李红楠,申立佳,等.智能乒乓球拾取机器人设计[J].科技创新导报,2018,15(36):2-4
SONG Anqi,LI Hongnan,SHEN Lijia,et al.Design of intelligent table tennis picking robot[J].Science and Technology Innovation Herald,2018,15(36):2-4

[13] 刘太钢,刘响响,周克良,等.基于STM32智能家用车库控制系统设计[J].传感器与微系统,2016,35(8):98-100
LIU Taigang, LIU Xiangxiang, ZHOU Keliang, et al. Design of intelligent garage control system based on STM32[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2016,35(8):98-100

[14] 曹宗伟,李星全,刘伟,等.数字相机校准中光斑中心的亚像素定位[J].测绘技术装备,2016,18(1):93-95
CAO Zongwei,LI Xingquan,LIU Wei,et al.Sub-pixel location of spot center in digital camera calibration [J]. 2016,18(1):93-95

[15] 卫玉梁,靳伍银.智能车跟随系统开发[J].传感器与微系统,2017,36(8):76-77
WEI Yuliang, JIN Wuyin. Development of intelligent vehicle following system[J].Transducer and Microsystem Technologies,2017,36(8):76-77

Design of automatic tennis pickup robot based on STM32

LIU Ling[1] JIN Wuyin[1] WANG Hongjian[2]

1 School of Mechanical and Electronical Engineering,Lanzhou University of Technology,Lanzhou 730050

2 School of Mechanical Engineering,Chongqing Technology and Business University,Chongqing 400067

Abstract In view of the heavy workload of tennis pickup in tennis court,as well as the problems of large size,poor flexibility and low efficiency of the existing tennis picking robots,an intelligent small mobile robot capable of automatic tennis picking based on STM32 was designed.The robot's mechanical structure was presented by constructing its 3D model.The robot adopted the centroid method to obtain target's coordinate information,and realized acts including target search,tennis pick and tennis deposit automatically,under the effective cooperation of its machine vision module,the walking steering gear,the universal wheel,and the double mechanical arms.The experiment results showed that the robot can quickly locate and collect tennis with high precision up to 98%.

Key words machine vision;double mechanical arms;centroid method;tennis picking robot;STM32