

张婧婧,李勇伟. 基于 3D 的马体尺测量及数据修正方法设计[J]. 江苏农业科学,2018,46(21):246-250.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.062

基于 3D 的马体尺测量及数据修正方法设计

张婧婧, 李勇伟

(新疆农业大学,新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:马的体尺数据是衡量马生长发育及科学饲养、育种的重要依据。区别于人工测量方法,基于机器视觉的马体尺测量系统在测量的安全和高效方面具有显著优势。基于 CINEMA 4D 软件的骨骼设计,依据线性回归方程的建模思想,首先完成焉耆马体高、体长、胸围、管围的数据采集;然后分别讨论马体站姿不标准的 2 类情况下,相应体尺数据的修正方法;最后利用 Matlab 软件初步完成马体测量系统的仿真测试。结果表明,基于 3D 图像的机器视觉测量方法,对于马站姿不标准时体尺数据的采集具备测量依据,利用线性回归理论预测马体尺的数据对相关体测系统的开发具备借鉴意义。

关键词:焉耆马;体尺测量;3D;线性回归方程;Matlab GUI

中图分类号: TP242.6⁺2;S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0246-04

新疆维吾尔自治区是我国传统的养马大区,马的品种资源丰富,据国家品种资源调查显示,目前全疆共有哈萨克马、巴里坤马、焉耆马、柯尔克孜马等 4 个地方品种,有伊犁马、伊犁马 2 个培育品种,为全国各省(市、自治区)马品种资源之首。马品种登记是由专门的登记机构依据系谱、体尺外貌、生产性能等资料来划分马的品种,而体尺测量技术是鉴定新疆马品种、推进马良种化进程中不可或缺的技术。

目前,机器视觉的动物体尺测量在国内已经取得一定进展,如利用背景减法和去除噪声算法得到猪体体尺测点^[1];利用背景差分法提取羊体轮廓^[2-3];运用自动阈值分割与形态学处理进行轮廓分割^[4];采用 Kinect 传感器搭建的羊体尺测量系统,利用彩色、深度图像的多元信息提取羊的体尺^[5-6];基于机器视觉技术测量鱼体侧面积,并将面积与质量进行数据拟合建立模型,评价鱼的质量等^[7]。相比国内研究现状,国外对动物体尺进行测度的设备专利较多。测度动物体型,建立结构化专用装置,其优势在于方便图像采集和标定,实现对感兴趣参照点进行线性测量^[8-9],但不足之处在于建立结构化装置成本较高,还必须诱导动物到指定位置。

目前,采用的自动化指标获取方法主要基于二维图像和结构化设施限制动物的位姿来实现获取,对动物的位姿或环境光照和背景要求较严格,在实际生产中难以得到满足,且 2D 机器视觉技术本身不能获取和动物身体曲面形状相关的指标^[10]。

本研究借鉴动物体尺的研究成果,依据新疆马业协会发布的地方标准,利用 3D 绘图技术,模拟多元线性回归算法,建立了新疆马体尺基础指标的采集模型,旨在完成基于机器

视觉的马体尺测量系统的初步设计。

1 机器视觉的马体尺测量方法

1.1 马体尺的测量标准

根据新疆马业协会发布的地方标准,测量马体尺的基本数据,包括体高、体长、胸围、管围,其测量标准为体高:从髻甲顶点到地面的垂直距离;体长:从肩端到臀端的直线距离;胸围:在肩脚骨后缘垂直绕胸一周的长度;管围:左前管部上 1/3 处的下端最细处,水平绕其一周的长度。

1.2 测量方法

本设计中,首先应用 CINEMA 4D 软件设计马体的骨骼,据此建立如图 1 所示的马体 3D 模型。在 3D 图像中,马的体高、体长、胸围、管围指标均属于体尺测量的基础数据,如图 1 中 A—A 线、B—B 线、C—C 线、D—D 线所示。基于机器视觉,马体各项指标的测量值必须与图像像素点的坐标距离相关,才具备可测性,而马的体高、体长测量方式符合这一标准。相反,马体的胸围、管围则缺乏坐标的测量依据,因此文中定义了相关指标:胸径、管径如图 1 中 E—E 线、F—F 线所示(实际坐标分别与 C、D 点重合),旨在利用可测的体高、体长、胸径、管径构成马体胸围、管围预测模型的重要参数。

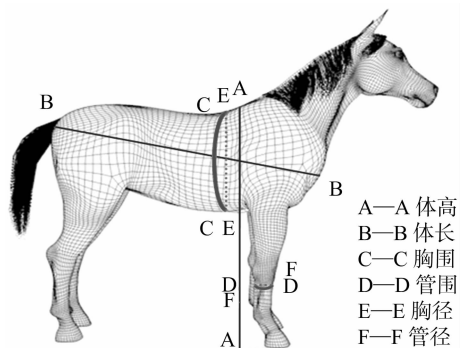


图1 马体尺测量的 2D 示例

1.3 测量方法的理论依据

测量系统中,马体胸围、管围的预测建立在多元线性回归

收稿日期:2017-05-09

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(编号:2018D01A17);新疆农业大学校前期资助项目(编号:XJAU201516)。

作者简介:张婧婧(1981—),女,湖南宁乡人,硕士,高级实验师,研究方向为嵌入式技术与应用。Tel:(0991)4552731;E-mail:zjj@xjau.edu.cn。

模型的基础之上。依据多元线性回归理论,因变量与自变量的相关程度越高,回归方程越显著,即获取与胸围、管围相关程度较高的马体尺指标,拟合多元线性回归方程,在方程成立的条件下,预测胸围、管围,即可完成马体尺的有效测量。为此,以 20 匹焉耆马的体尺数据为依据,在 Matlab 仿真软件中首先获取马体尺各项指标间线性相关程度的数据。

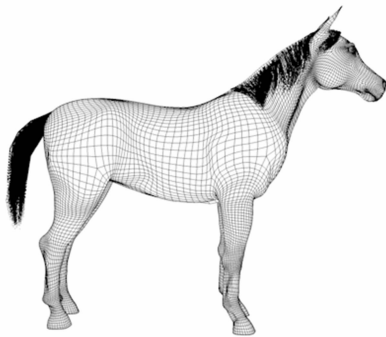
根据相关系数的标准定义^[11]:

$$r = E\{(x - E\{x\}) \times (y - E\{y\})\} / (\text{sqrt}(\{(x - E\{x\})^2\}) \times \text{sqrt}(\{(y - E\{y\})^2\})) \quad (1)$$

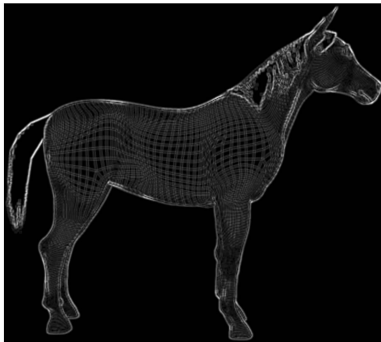
式中: $E\{\}$ 为期望值; $|r| = 1$ 表明两者相关, $|r| = 0$ 表明两者不相关。

调用 Matlab 软件中的 `corrcoef()` 函数,得到马体的体高、体长、胸围、管围、胸径、管径间线性关系的数据,如表 1 所示。

由表 1 可知,焉耆马的体高、体长、胸围、管围、胸径、管径指标之间满足两两线性相关条件,具有不同程度的相关性。利用体高、体长、胸径、管径的优化组合构成方程的自变量,通过回归方程的检验参数评估方程的显著性,即可搭建胸围、管围的预测模型。



a. 马体尺轮廓提取前



b. 马体尺轮廓提取后

图2 马体尺的轮廓提取效果

由图 2 可知,3D 马体图像的边缘清晰,图像中动物体色与选取的背景色差虽不明显,但轮廓提取依然较准确。鉴于图像边缘检测的多样化,还同时尝试该图像的一维 Canny 算子、Robinson 算子以及二维 Laplace 算子^[13]的边缘检测。较其他算法,Sobel 算法边缘检测的运算速度快,对 3D 骨骼刻画地较为精准,具有测量优势。

2.2 建立体尺预测模型

基于上述体尺测量的设计方案,首先建立胸围的预测模型。由表 1 可知,与胸围相关性较高的指标依次为胸径、体高、管径;设计中以 20 匹焉耆马的胸径、体高、管径为自变量 x_1 、 x_2 、 x_3 ,以胸围为因变量 y ,建立多元线性回归方程,如公式(2)所示。

$$y = -129.3573 + 0.0195x_1 + 2.1510x_2 - 0.7809x_3 \quad (2)$$

公式(2) $r^2 = 0.9986$; $F = 694.0975$; $P = 9.2596 \times 10^{-5}$ 。由 P 值可知,公式(2)的回归模型成立。

同样地,与管围相关性较高的指标依次为管径、体高、胸围;以 20 匹焉耆马的管径、体高、胸围为自变量 x_1 、 x_2 、 x_3 ,以管围为因变量 y ,建立多元线性回归方程,如公式(3)所示。

$$y = 5.9163 + 1.6586x_1 + 0.0350x_2 - 0.1x_3 \quad (3)$$

公式(3) $r^2 = 0.9988$; $F = 820.3486$; $P = 7.2094 \times 10^{-5}$ 。由 P 值可知,公式(3)的回归模型成立。模型的仿真中,调用

表 1 马体尺指标间相关系数

指标	体高	体长	胸围	管围	胸径	管径
体高	1.000 0					
体长	0.820 4	1.000 0				
胸围	0.797 3	0.586 5	1.000 0			
管围	0.619 8	0.503 9	0.615 3	1.000 0		
胸径	0.888 5	0.787 9	0.909 3	0.517 9	1.000 0	
管径	0.845 8	0.663 6	0.794 0	0.905 1	0.794 7	1.000 0

2 体尺测量系统的关键技术

2.1 3D 图像的轮廓提取

在基于 CINEMA 4D 软件设计的马体骨骼中,为精准获取像素点的坐标距离,先进行 3D 图像的轮廓提取。仿真中,采用 Sobel 算子的边缘检测算法^[12]提取马体轮廓。首先将马体图像变为灰度图,然后分别利用 Sobel 垂直方向模板和水平方向模板对转化的灰度图像做卷积,求得垂直方向和水平方向梯度,将 2 个梯度相加即可求得整个图像的梯度,即为图像的轮廓(图 2)。

Matlab 的线性拟合函数 `regress()` 方法^[14]建立回归方程,为了提高预测的准确度,还针对数据进行 `rcoplot()` 残差分析,剔除异常点,并利用判定系数测定方程的拟合程度是否符合建模的条件。

2.3 体尺测量系统的可视化界面设计

鉴于系统交互式设计的需要,利用 Matlab GUI 工具完成系统可视化界面的设计。在 GUI 工具中,选择的控件包括 `axes`、`pushbutton`、`edit`、`uitable`、`text` 等,其具体功能如表 2 所示。

表 2 交互式界面中控件的主要功能

控件	主要功能
<code>axes</code>	嵌入马体图像;显示体尺测试点坐标
<code>pushbutton</code>	启动线性回归运算;启动平面任意坐标点间距离的测量
<code>edit</code>	显示体尺测量结果
<code>uitable</code>	保存数据
<code>text</code>	预览体尺坐标的位置

3 体尺测量系统的修正方法

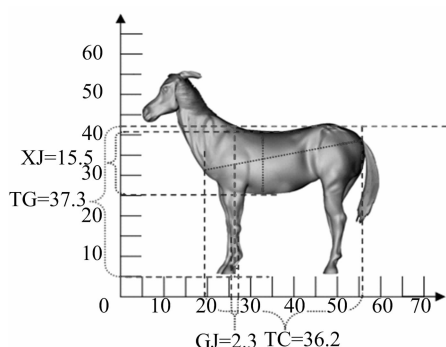
在机器视觉的动物体测系统中,由于动物体态各异,不可避免地为体尺测量带来很大难度。针对马体站姿不标准的 2 类情况,本设计提出了相应的修正方法,旨在加强体测系统的测量能力。应用 CINEMA 4D 软件设计马体骨骼,绘制了同一

匹马行走和倾斜站立的姿态,据此模拟 2 种姿态下马体尺数据的变化规律。

在马体站姿不标准的情况下,须要引入马体尺的另一指标——体质量,以便替换因为站姿不准而无法准确获取的其他参数,重构预测模型。根据建立线性回归方程的需要,以焉耆马为例,首先获取体质量与马体其他指标间相关程度的数据(表 3)。

表 3 马体质量与其他指标相关程度

测试指标	体高	体长	胸围	管围	胸径	管径
体质量	0.781 9	0.462 1	0.770 3	0.851 4	0.616 5	0.870 4

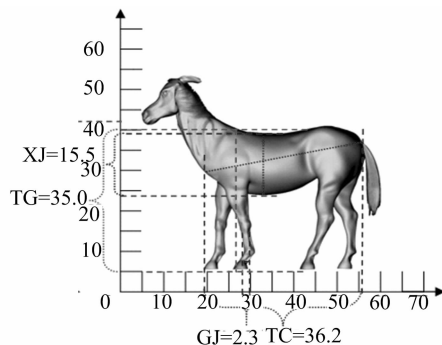


3.1 马行走姿态下体尺数据的修正

马体在行走状态下,其体高减小、体长不变、胸径不变、管径不变,如图 3 所示。首先须要修正体高,即建立体高的预测模型。在马体尺指标相关系数列表中,体高与体长、胸径、管径的相关程度高,即以焉耆马的体长、胸径、管径为自变量 x_1, x_2, x_3 ,以体高为因变量 y ,建立多元线性回归方程,如公式(4)所示。

$$y = 0.705\ 6 + 0.959\ 8x_1 - 0.489\ 5x_2 + 3.386\ 8x_3 \quad (4)$$

公式(4) $r^2 = 0.998\ 3$; $F = 583.600\ 0$; $P = 1.200\ 0 \times 10^{-4}$ 。由 P 值可知,公式(4)的回归模型成立。



TG 表示体高; TC 表示体长; XJ 表示胸径; GJ 表示管径。图 4, 图 5 同

图 3 马体行走姿态下体尺数据的变化

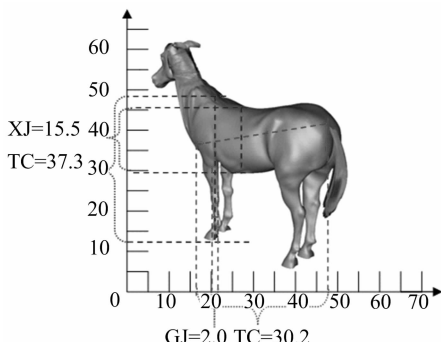
类似地,行走姿态下,剔除体高指标,以马的体质量、胸径、管径为自变量 x_1, x_2, x_3 ,以胸围为因变量 y ,建立多元线性回归方程,如公式(5)所示。

$$y = 14.283\ 6 + 0.154\ 8x_1 + 2.256\ 9x_2 - 3.737\ 1x_3 \quad (5)$$

公式(5) $r^2 = 0.999\ 0$; $F = 954.500\ 0$; $P = 5.746\ 0 \times 10^{-5}$ 。由 P 值可知,公式(5)的回归模型成立。

同样地,由于体长与管围的相关性较低,以马的体质量、胸径、管径为自变量 x_1, x_2, x_3 ,以管围为因变量 y ,建立多元线性回归方程,如公式(6)所示。

$$y = 7.228\ 9 + 0.014\ 9x_1 - 0.037\ 8x_2 + 0.984\ 9x_3 \quad (6)$$



公式(6) $r^2 = 0.991\ 9$; $F = 122.670\ 0$; $P = 1.200\ 0 \times 10^{-3}$ 。由 P 值可知,公式(6)的回归模型成立。

综上所述,体测系统基本实现了行走姿态下马体尺各项指标的测量及数据修正。

3.2 马体站姿倾斜时体尺数据的修正

马体相对相机平面倾斜时,呈现出体质量不变、体高不变、体长变小、胸径不变、管径变小等体尺变化规律,如图 4 所示。剔除体长、管径指标,体尺预测模型的有效参数仅有体质量、体高、胸径 3 项指标,据此预测了马体站姿倾斜时体尺数据模型。

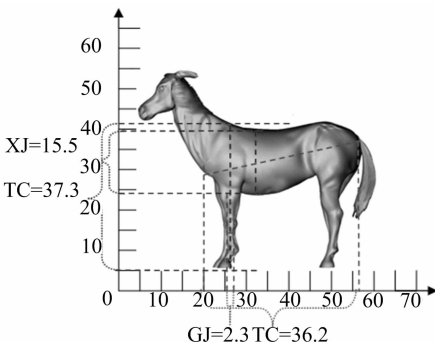


图 4 马体倾斜时体尺数据的变化

以马的体质量、体高、胸径为自变量 x_1, x_2, x_3 ,以体长为因变量 y ,建立多元线性回归方程,如公式(7)所示。

$$y = 4.794\ 0 - 0.060\ 7x_1 + 1.246\ 2x_2 - 0.232\ 7x_3 \quad (7)$$

公式(7) $r^2 = 0.999\ 8$; $F = 5\ 474.500\ 0$; $P = 4.190\ 0 \times 10^{-6}$ 。由 P 值可知,公式(7)的回归模型成立。

同样地,以体质量、体高、胸径为自变量 x_1, x_2, x_3 ,以胸围为因变量 y ,建立多元线性回归方程,如公式(8)所示。

$$y = -112.923\ 8 + 0.009\ 8x_1 + 1.825\ 8x_2 + 0.366\ 2x_3 \quad (8)$$

公式(8) $r^2 = 0.995\ 0$; $F = 199.650\ 0$; $P = 5.964\ 0 \times 10^{-6}$ 。由 P 值可知,公式(8)的回归模型成立。

再以体质量、体高、胸径为自变量 x_1, x_2, x_3 ,以管围为因变量 y ,建立多元线性回归方程,如公式(9)所示。

$$y = 7.119\ 5 + 0.028\ 7x_1 - 0.020\ 4x_2 + 0.069\ 1x_3 \quad (9)$$

公式(9) $r^2 = 0.999\ 8$; $F = 4\ 182.450\ 0$; $P = 6.273\ 6 \times 10^{-6}$ 。由

P 值可知,公式(9)的回归模型成立。

综上,本设计完成了站姿倾斜时马体尺各项指标的测量及数据修正。然而由于马的姿态变化不定,当马体倾斜且行走时,呈现体质量不变、体高变小、体长变小、胸径不变、管径

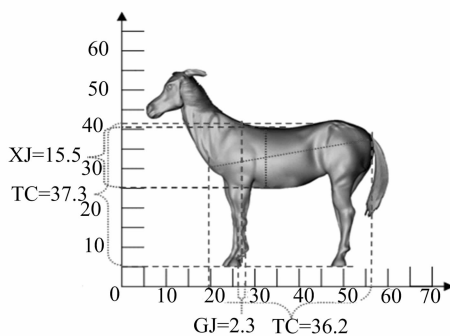
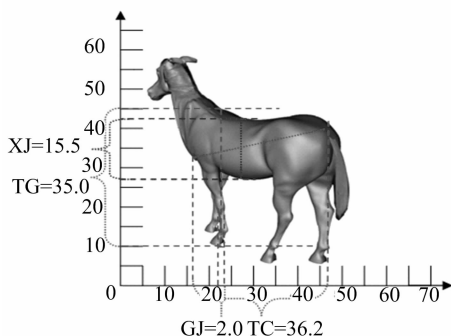


图5 马体倾斜且行走时时体尺数据的变化

4 马体尺测量系统的设计与初步测试

4.1 系统的设计流程

基于 Matlab 开发平台,测量马体尺须要依次完成的轮廓提取、坐标定位、距离测量、数据修正、回归分析、预测值显示、数据保存等步骤,其具体流程如图 6 所示。

4.2 系统的初步测试

以马体 3D 图像的体尺数据为依据,在可视化界面中进行系统的初步测试。由图 7 可知,受面板尺寸的限制,测量中获取体长、体高与胸径、管径数据分别置于 2 副图像轮廓中操作,降低了坐标定位过程中重复操作的可能性;系统仿真中用红色文本显示马体坐标,并将有效坐标用虚线连接,直观呈现体高、体长、胸径、管径的测量数据,并将所有测量结果显示于 edit 文本框中。

在马体站姿不标准的情况下,还设计了数据修正按键,用

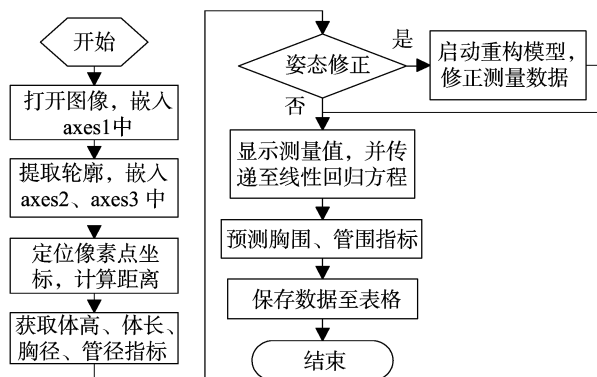


图6 体尺测量系统设计流程

于启动重构的预测模型,修正体尺数据预测结果,降低模型测量的2次误差。

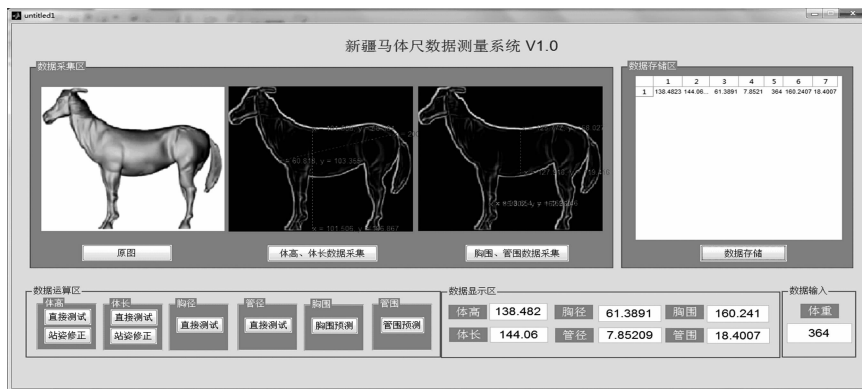


图7 马体尺的数据测量界面

5 结语

基于 Matlab 开发平台,依据线性相关及线性回归理论,本系统初步完成了马体的体长、体高、胸围、管围的测量。为了加强预测模型的准确性,定义了与图像中像素点距离成比例的胸径、管径指标,且引入了体质量指标,使得线性回归方程的拟合程度增强,回归特性显著。对于站姿不标准造成的测量误差,讨论了 2 种特定姿态下的修正方法,初步降低因站姿不标准造成的测量误差,具备借鉴意义。

仿真的不足之处主要在于线性相关分析和线性回归方程均取决于少量马体尺的样本数据,据此构建的模型,其测量误差无法定量估算。

参考文献:

- [1] 刘同海, 滕光辉, 付为森, 等. 基于机器视觉的猪体体尺测点提取算法与应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 161-168.
- [2] 江 杰, 周丽娜, 李 刚. 基于机器视觉的羊体体尺测量[J]. 计算机应用, 2014, 34(3): 846-850, 887.

邵 堃. 五自由度机械臂的番茄智能采摘机器人[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(21): 250–253.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.063

五自由度机械臂的番茄智能采摘机器人

邵 堃

(河南职业技术学院机电工程系, 河南郑州 450046)

摘要:为实现温室大棚内番茄的自动采摘工作,通过模拟人工采摘番茄的过程设计了基于五自由度机械臂的番茄智能采摘机器人,主要由定位导航系统、双目视觉系统和五自由度机械臂等组成。首先,通过对五自由度机械臂进行建模,求解出各关节的角度与目标点坐标的关系;然后利用双目视觉系统对植株上番茄的大小和颜色扫描来判断成熟程度,并定位目标中心点的三维坐标,再将其转化到机械臂坐标系下,最终通过控制各关节的舵机将末端执行器送到成熟番茄的位置完成采摘任务。对五自由度机械臂的控制精度进行测试,结果表明:在9个不同高度和不同方向的目标点中最大的距离偏差仅为6.71 mm;在实际作业试验中,采摘成功率高达94.82%,而单颗平均采摘耗时仅为9.94 s,完全满足设计的要求,能够胜任温室内大规模番茄采摘的工作。

关键词:五自由度;机械臂建模;番茄智能采摘;智能机器人;导航系统;双目视觉;坐标系变换

中图分类号:S225.92;TP249 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)21-0250-04

我国作为农业大国,近几年在农业生产方面取得了飞速发展,但同时我国也是人口大国,随着传统人口红利的不断消减,能够参与到农业生产的劳动力越来越少。人工智能装备的应用已经悄然进入到生活的方方面面,尤其在农业领域变化巨大,传统的耕作方式不断被改变,如大型耕耘机、播种机和收割机等,但在精细化的采摘作业环节,仍然需要大量的人力^[1-3]。很多学者针对不同的作物设计了精细化的采摘设备,王燕等设计了四自由度采摘手,但其灵活性和作业范围具有明显的局限性^[4];张飞云设计了苹果采摘机器人,主要针对户外的果实采摘,在智能化设计方面还有一定的缺陷^[5]。番茄是温室大棚的主要经济作物,产量丰富,但采摘属于机械重复度的工作,且劳动强度大,尤其在收获的高峰期,需要大量的采摘工人。为了适应现代农业的发展,充分利用无线定

位、双目视觉和智能控制等技术,设计了基于五自由度机械臂的番茄智能采摘机器人,通过双目视觉系统和五自由度机械臂的配合工作,实现成熟番茄的采摘,通过控制精度测试和采摘试验验证了设计的有效性。

1 番茄采摘机器人的结构及工作原理

采摘机器人完全按照仿生学设计,模拟人工采摘番茄的全过程。在采摘的过程中,不断地移动,通过眼睛寻找目标,并确定番茄的空间位置,同时,观察番茄的颜色和大小来判断成熟程度;最后,伸手去摘番茄并用手指切断果梗,将番茄放入果筐中^[6-8]。本研究设计的番茄智能采摘机器人完全模拟该过程,主要包括信息获取、信息处理和执行三大系统。在结构上,采摘机器人主要包括移动履带车平台、机械手臂、双目视觉系统和导航定位系统等。采摘机器人结构示意图如图1所示。

由于成熟番茄的颜色与背景颜色差别较大,在利用双目视觉系统进行处理和定位时相对更容易些,精度更高。具体的工作流程为:(1)机器人通过定位导航系统确定所在空间的位置,并移动到所需作业的起始位置;(2)通过视觉摄像机逐株扫描(自上而下)番茄,并通过颜色和大小特征来判断是

收稿日期:2017-07-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:60974005);国家科技支撑计划(编号:2014BAH09F00)。

作者简介:邵 堃(1969—),男,河南柘城人,副教授,主要从事农业机械设计与制造研究。E-mail:shaokun1969@126.com。

[3]江 杰,岳 伟,曹孟珍. 基于机器视觉的羊体体尺测量方法研究[J]. 内蒙古科技大学学报,2015,34(4):322–327.

[4]刘 波,朱伟兴,寇冠英. 生猪轮廓红外与光学图像的融合算法[J]. 农业工程学报,2013,29(17):113–120.

[5]赵建敏,赵忠鑫,李 琦. 基于 Kinect 传感器的羊体体尺测量方法[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):495–499.

[6]赵建敏,赵忠鑫,李 琦. 基于 Kinect 传感器的羊体体尺测量系统[J]. 传感器与微系统,2015,34(9):100–103.

[7]刘 伟,谭鹤群,黄 丹,等. 白鲢质量与截面积沿体长方向分布模型[J]. 农业工程学报,2012,28(12):288–292.

[8]Gonzalez-Jorge H, Riveiro B, Vazquez-Fernandez E, et al. Metrological evaluation of Microsoft Kinect and Asus Xtion sensors[J]. Measurement,2013,46(6):1800–1806.

[9]Doeschl-Wilson A, Whitemore C T, Knap P, et al. Using visual image analysis to describe pig growth in terms of size and shape[J]. Animal Science,2004,79(3):415–427.

[10]郭 浩,王 鹏,马 钦,等. 基于深度图像的奶牛体型评定指标获取技术[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):273–276,229.

[11]苑 静. 用 Matlab 实现求解线性方程组和向量计算[J]. 科教文汇(上旬刊),2014(6):48–49.

[12]刘博峰,邵丽鹏. 基于 FPGA 的 Sobel 图像边缘检测算法[J]. 应用科技,2016,43(6):59–61.

[13]曹 磊,范彩霞. 基于视觉感知的彩色图像边缘检测[J]. 计算机时代,2016(2):4–7.

[14]欧阳明松,徐连民. 基于 MATLAB 的试验数据拟合[J]. 南昌工程学院学报,2010,29(4):24–28.