

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)04-0017-04

基于支持向量机的果实采摘点空间位置误差补偿机制

陈科尹, 姚勇

(嘉应学院 物理与电子工程学院, 广东 梅州 514015)

摘要: 农业自动化技术的持续进步, 果实采摘机器人在提升农业生产效率方面扮演着愈发关键的角色, 将成为推动农业现代化发展的重要力量。然而, 在实际采摘作业场景中, 复杂多变的环境因素带来了诸多挑战。光照条件的不稳定、果实间相互遮挡以及机器人自身定位精度受限等, 均导致果实采摘点的空间位置出现误差, 这极大地影响了采摘的准确性与效率, 成为制约果实采摘机器人广泛应用的瓶颈。针对这一问题, 提出了一种基于支持向量机(support vector machine, SVM)的果实采摘点空间位置误差补偿机制。该机制通过构建SVM模型, 对采摘过程中的空间位置误差进行预测和补偿, 从而提高采摘机器人的定位精度和采摘成功率。实验结果表明, 此补偿机制切实可行, 能够有效降低果实采摘点的空间位置误差。

关键词: 支持向量机; 果实采摘; 空间位置误差; 补偿机制

中图分类号: TP13

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)04-0017-04

The compensation mechanism of spatial position error of fruit picking points based on SVM

CHEN Keyin, YAO Yong

(School of Physics and Electronic Engineering, Jiaying University, Meizhou 514015, Guangdong, China)

Abstract: With continuous advancements in agricultural automation technology, fruit-picking robots are playing an increasingly vital role in boosting agricultural productivity, emerging as a key driver of agricultural modernization. However, in real-world harvesting scenarios, complex environmental factors present significant challenges. Unstable lighting conditions, fruit shading, and limited positioning accuracy of the robots all lead to spatial positioning errors at picking points, severely impacting harvesting precision and efficiency. These issues become a major bottleneck hindering the widespread adoption of fruit-picking robots. For this problem, this paper proposes a spatial position error compensation mechanism based on support vector machine (SVM). This mechanism constructs the SVM model to predict and compensate the spatial position error in the picking process, so as to improve the positioning accuracy and picking success rate of the picking robot. The experimental results show that the compensation mechanism is feasible and can effectively reduce the spatial location error of fruit picking point.

Keywords: support vector machine; fruit picking; spatial position error; compensation mechanism

在现代农业中, 果实采摘是一项劳动密集型且耗时的的工作。随着人口老龄化和劳动力成本的上升, 果实采摘自动化已成为农业发展的必然趋势。果实采摘机器人作为自动化采摘的重要载体, 其性能直接关系到采摘的效率和准确性。然而, 在实际应用中, 果实采摘机器人面临着诸多挑战, 其中最为突出的问题就是采摘点的空间定位精度。由于多种因素的影响, 如光照条件的变化、果实的遮挡和重叠、机器人自身传感器精度的限制等, 导致采摘点的实际位置与理论位置存在偏差。这种偏差不仅会影响采摘的准确性, 还可能导致机器人的机械臂与果实发生碰撞, 造成果实的损伤和机器人的故障^[1]。

近年来, 支持向量机(support vector machine, SVM)作为一种强大的机器学习工具, 已经在模式识别、数据分类

和回归分析等多个领域取得了显著成效^[2-4]。其独特的优势在于能够处理高维度、非线性以及小样本数据, 并且在模型的复杂性和学习能力之间达到一种良好的平衡。特别是, SVM在解决分类问题时, 通过最大化决策边界来找到最佳超平面, 从而确保模型的泛化能力^[5-6]。

在果实采摘领域, SVM的应用潜力巨大。通过训练SVM模型来识别果实的空间位置, 可以实现对采摘点的精确预测。然而, 由于实际采摘环境中存在诸多不确定因素, 如光照变化、果实重叠和枝叶遮挡等, 这些都会导致采摘点的识别出现误差^[7]。为此, 本文提出了一种基于支持向量机(SVM)的果实采摘点空间位置误差补偿机制。本文利用SVM构建误差预测模型, 通过对历史采摘数据的学习和分析, 预测当前采摘点的空间位置误差, 并根据预

收稿日期: 2024-10-21; 录用日期: 2024-11-24

基金项目: 国家自然科学基金(61863011); 广东省攀登计划重点项目(pdjh2022a0480); 广东省普通高校特色创新项目(2020KTSCX142)

作者简介: 陈科尹(1982—), 男, 博士后, 副教授, 研究方向: 农业电气化与自动化。

引用本文: 陈科尹, 姚勇. 基于支持向量机的果实采摘点空间位置误差补偿机制[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(4): 17-19, 128. (CHEN Keyin, YAO Yong. The compensation mechanism of spatial position error of fruit picking points based on SVM[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(4): 17-19, 128.)

测结果对机器人的采摘动作进行实时误差补偿。

1 果实采摘点空间位置误差补偿

支持向量机(SVM)是由 Vapnik 首先提出的,像多层感知器网络和径向基函数网络一样,可用于模式分类和非线性回归,具有通用性强、鲁棒性好、计算简单以及理论完善等优点^[8-12]。其基本思想是通过非线性核函数映射 Φ : $x \in R^n \rightarrow F$ 将样本映射到高维特征空间 F , 然后转化为一个等价的二次凸优化问题。

假设数据样本集为 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$, 其中 $x_i \in R^n$ 为 n 维数的输入向量, 为目标值, n 为样本数。SVM 二次凸优化目标函数, 可以由式(1)提供。

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*) \\ \text{subject to} \begin{cases} y_i - (w' \Phi(x_i) + b) \leq \varepsilon - \xi_i \\ (w' \Phi(x_i) + b) - y_i \leq \varepsilon - \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, C > 0 \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

其中, ξ_i 和 ξ_i^* 为非负松弛变量, 可以提高学习的泛化能力, C 是惩罚因素, 用于实现控制错过核心样本的惩罚程度, ε 是不敏感损失函数参数, 参数 C 和 ε 都是由用户决定, 这对 SVM 学习的泛化能力有一定的影响。

为此, 本文结合 SVM 模型, 给出了果实采摘点空间位置误差补偿的具体步骤:

1) 数据收集与预处理。首先, 通过平面标定靶标定果实采摘点的实际位置即使平面标定靶的特征点代表果实采摘点和通过双目相机基于双目相机测量原理, 计算对应的预测位置数据(图1)。并且, 对这些数据进行去噪、标准化预处理。

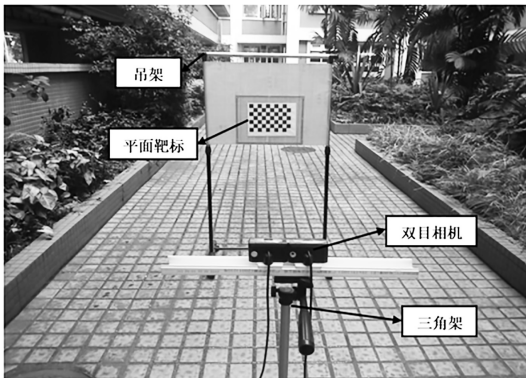


图1 果实采摘点空间位置误差补偿试验平台

Fig.1 Experimental platform for spatial position error compensation of fruit picking points

2) SVM 模型训练。选择适当的核函数(如线性核、多项式核、径向基函数核等)和参数(如惩罚系数 C 、核函数参数等), 使用收集到的数据训练 SVM 模型。

3) 误差计算。使用训练好的 SVM 模型对新的果实采摘点位置进行预测, 并计算预测位置与实际位置之间的误差。

4) 误差补偿。根据计算得到的误差, 对 SVM 模型的

预测结果进行补偿。

同时, 本文按照图1所示的果实采摘点空间位置误差补偿试验平台, 采集8幅左、右平面靶标图像中共有432个已知实际三维空间世界坐标 (X, Y, Z) 的特征点; 然后, 以左、右平面靶标图像特征点的像素坐标 u 和 v , 计算出其相应的三维空间世界坐标 (X', Y', Z') ; 最后, 把前面7幅平面靶标图像中的378个左、右平面靶标图像特征点的像素坐标 u 和 v 作为输入, 它们的实际三维空间世界坐标 (X, Y, Z) 和计算得到的三维空间世界坐标 (X', Y', Z') 之差 $\Delta X = X - X'$, $\Delta Y = Y - Y'$, $\Delta Z = Z - Z'$ 作为输出分别独立训练采摘点的3个坐标误差补偿支持向量机即采摘点 X 坐标误差补偿支持向量机, 采摘点 Y 坐标误差补偿支持向量机和采摘点 Z 坐标误差补偿支持向量机, 而剩下第8幅平面靶标图像中的54个特征点作为误差补偿支持向量机测试数据, 再利用这些训练与测试好的误差补偿支持向量机对采摘点的三维空间坐标进行位置误差补偿, 实验流程如图2所示。

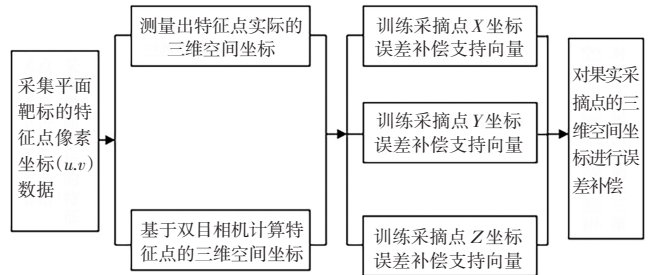


图2 基于支持向量机的果实采摘点三维空间位置误差补偿
Fig.2 3D spatial position error compensation of fruit picking points based on support vector machine

2 实验结果与分析

为了验证基于支持向量机的果实采摘点空间位置误差补偿的有效性, 本文还运用 VS2008 和 OpenCV 开发了果实采摘点三维空间位置计算与误差补偿系统(图3)。



图3 基于支持向量机的果实采摘点三维空间位置计算与误差补偿系统

Fig.3 Three-dimensional spatial position calculation and error compensation system for fruit picking point based on support vector machine

在距离双目相机前面 450~900 mm 处分别采集了 10 组左、右果实图像的采摘点,进行了果实采摘点空间位置误差补偿试验,其试验结果如表 1 所示。一般情况下,除了视觉测量方法外,果实采摘点的真实 X 坐标和 Y 坐标,

非常难以测量,但其 Z 坐标可以通过激光测距仪获得。为此,一般只能对果实采摘点的 Z 坐标误差补偿结果进行分析,也即是深度误差分析。10 组左、右果实图像的果实采摘点的 Z 坐标误差(即深度误差)的结果如表 2,图 4 所示。

表 1 10 组果实采摘点空间位置误差补偿试验结果

Tab. 1 Experimental results of spatial position error compensation of fruit picking points in 10 groups

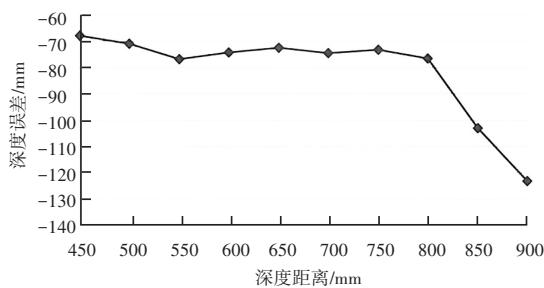
组号	(u_l, v_l)	(u_r, v_r)	(X, Y, Z)	(X', Y', Z')
1	(298, 32)	(106, 32)	(5.39, -79.10, 382.11)	(-17.88, -104.5, 449.77)
2	(300, 58)	(222, 58)	(7.38, -74.45, 428.99)	(-15.88, -99.83, 496.65)
3	(312, 79)	(245, 79)	(15.82, -69.30, 473.05)	(-7.40, -94.47, 545.49)
4	(313, 86)	(257, 86)	(18.77, -72.27, 525.56)	(-4.45, -97.44, 598.00)
5	(287, 105)	(240, 105)	(1.55, -65.10, 577.40)	(-21.71, -90.48, 645.06)
6	(302, 112)	(263, 112)	(14.70, -64.90, 625.47)	(-8.53, -90.07, 697.92)
7	(301, 120)	(270, 120)	(16.14, -63.18, 676.63)	(-7.08, -88.35, 749.07)
8	(289, 126)	(266, 126)	(7.68, -61.88, 723.33)	(-15.54, -87.05, 795.77)
9	(325, 104)	(312, 104)	(46.98, -85.47, 746.87)	(23.90, -110.4, 847.80)
10	(240, 138)	(228, 138)	(-35.39, -52.09, 776.91)	(-58.65, -77.47, 895.57)

注: (u_l, v_l) 表示左像素坐标, (u_r, v_r) 表示右像素坐标, (X, Y, Z) 表示补偿前计算的坐标/mm, (X', Y', Z') 表示补偿后计算的坐标/mm。

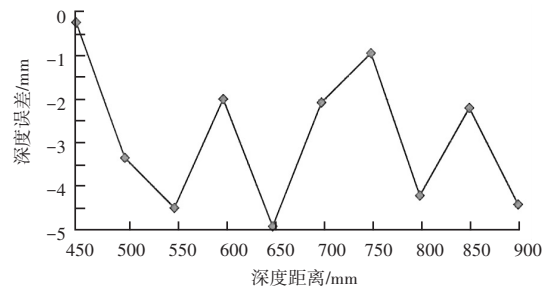
表 2 10 组果实采摘点 Z 坐标误差计算结果

Tab. 2 Calculation results of Z-coordinate error of fruit picking points in 10 groups mm

组号	通过激光测距仪测量的 Z 坐标值	补偿前计算的 Z 坐标与激光测距仪的 Z 坐标的误差	补偿后计算的 Z 坐标与激光测距仪的 Z 坐标的误差
1	450	-67.89	-0.23
2	500	-71.01	-3.35
3	550	-76.95	-4.51
4	600	-74.44	-2.00
5	650	-72.60	-4.94
6	700	-74.53	-2.08
7	750	-73.37	-0.93
8	800	-76.67	-4.23
9	850	-103.13	-2.2
10	900	-123.09	-4.43



(a) SVM 补偿前的果实对象采摘点深度误差



(b) SVM 补偿后的果实对象采摘点深度误差

图 4 10 组果实采摘点 Z 坐标误差的对比图

Fig. 4 Comparison of Z-coordinate error at fruit picking points for 10 groups