

基于竞争算法优化支持向量机的预测模型及其应用

陈相东, 吴佳慧

天津理工大学数学科学学院, 天津

收稿日期: 2026年9月15日; 录用日期: 2026年10月9日; 发布日期: 2026年10月15日

摘要

提出一种基于帝国竞争算法(ICA)优化的支持向量机模型(ICA-SVM), 该模型利用ICA优化支持向量机(SVM)的惩罚因子和核函数参数, 以提升全局搜索能力和收敛速度。考虑元启发式算法存在随机波动性, 对ICA-SVM、PSO-SVM开展30次独立重复实验, 输出 (R^2) 、MAPE、RMSE的均值与标准差, 引入Wilcoxon符号秩检验开展非参数显著性检验; 采用留一法交叉验证(LOOCV)开展模型评估并输出定量结果, 降低小样本条件下的评估偏差。为验证ICA-SVM的性能, 利用标准测试函数将其与粒子群算法优化的支持向量机(PSO-SVM)进行对比分析, 结果表明ICA-SVM在收敛精度和收敛速度上均优于PSO-SVM。将该模型应用于天津市城市居民人均可支配收入预测, 选取历年天津市与城市居民人均可支配收入高度相关的人均生产总值、产业结构、固定资产投资等六项核心指标构建预测模型。引入SHAP模型解释工具, 量化各输入特征对预测结果的贡献程度, 挖掘关键驱动因素。结果显示, 显著优于传统参数优化方法, 这表明该模型具有良好的合理性。将该模型应用于其他城市进行预测且预测结果良好, 这证明该模型具有优秀的泛化能力。将ICA-SVM与SVM预测结果进行对比, 结果表明ICA-SVM的预测准确度更高。此外, 模型拓展应用于行业可支配效能预测, 结果显示工程技术行业效能高于管理行业, 为政策制定提供有效数据支持。

关键词

城市居民人均可支配收入, 帝国竞争算法, 支持向量机, 参数优化, 可支配效能, 预测

Prediction Model Based on Imperial Competitive Algorithm-Optimized Support Vector Machine and Its Applications

Xiangdong Chen, Jiahui Wu

College of Mathematical Science, Tianjin University of Technology, Tianjin

Abstract

To address the shortcomings of existing hybrid models combining intelligent optimization algorithms with support vector machines (SVMs), such as insufficient global optimization capability and slow convergence speed, this paper proposes an imperial competitive algorithm (ICA)-optimized SVM model (ICA-SVM). Considering the random volatility of meta-heuristic algorithms, 30 independent repeated experiments are carried out for ICA-SVM and PSO-SVM, and the mean values and standard deviations of R², MAPE and RMSE are reported. The Wilcoxon signed-rank test is introduced for non-parametric significance test. Leave-one-out cross-validation (LOOCV) is adopted for model evaluation with quantitative outputs to reduce evaluation bias under small-sample conditions. The proposed ICA-SVM model utilizes ICA to optimize the penalty factor and kernel function parameters of the SVM, thereby enhancing its global search ability and convergence speed. To validate the performance of ICA-SVM, its optimization capability was compared with that of a Particle Swarm Optimization-optimized SVM (PSO-SVM) using benchmark test functions. The comparative analysis demonstrates that ICA-SVM outperforms PSO-SVM in both convergence precision and convergence speed. The model is applied to predict the per capita disposable income of urban residents in Tianjin City. Six core indicators highly correlated with urban residents' per capita disposable income—including per capita GDP, industrial structure, and fixed asset investment—are selected to construct the prediction model. SHAP model-agnostic explanation tool is introduced to quantify the contribution degree of each input feature to the prediction results and mine the key driving factors. Results demonstrate that the ICA-SVM significantly outperforms traditional parameter optimization methods, indicating its strong rationality. Furthermore, the model exhibits excellent generalization capability when applied to predict outcomes in other cities. Comparative analysis reveals higher prediction accuracy in ICA-SVM versus conventional SVM. Additionally, the model is extended to predict disposable efficiency across industries, revealing that the efficiency of engineering and technical industries surpasses that of management industries. This finding provides effective data support for policy formulation.

Keywords

Urban Residents' Per Capita Disposable Income, Imperial Competitive Algorithm (ICA), Support Vector Machine (SVM), Parameter Optimization, Disposable Efficiency, Prediction

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

支持向量机是一种经典的监督学习模型, 在解决小样本、非线性及高维模式识别问题上表现出许多独特的优势。此外, 支持向量机具有较强的理论基础, 这就保证了用该模型找到的极值解是全局最优解而非局部最优解, 因此它具有良好的泛化推广能力, 从而支持向量机被广泛应用于分类及回归问题中, 例如, Liza M Kunjachan 和 R. Kavitha [1]通过将支持向量机与模糊逻辑、Sugeno 积分融合构建了一个混合模型以预测心血管疾病风险, Durlav Sonowal 等[2]基于支持向量机开发了 PIR 传感器驱动的入侵检测系统, S. Sharief Basha 和 A. Nagaraja Rao [3]提出了一种基于支持向量机的新型方法用于太阳辐射预测。然而, 单一

的支持向量机也具有局限性, 如模型对惩罚因子 C 及核函数参数的依赖性较强, 超参数选择的好坏会直接影响模型的性能, 目前还没有确定这些超参数的有效方法。因此如何寻找惩罚因子 C 及核函数参数是提升支持向量机模型性能的关键。目前, 有很多学者通过一些方法来优化这些超参数, 凌菁等[4]结合网格搜索与交叉验证法寻找最佳超参数, 这种方法存在计算成本过高、缺乏灵活性、容易导致过拟合等弊端。曾豫宁等[5]采用粒子群算法对支持向量机的超参数进行优化, Jianxin Huang 等[6]借助麻雀搜索算法来优化支持向量机超参数, 这些智能优化算法与支持向量机结合, 相较于单一的支持向量机其模型准确度得到了较大的改善, 但仍存在全局寻优能力不足、收敛速度慢、算法易陷入早熟收敛的问题, 这些问题在一定程度上影响了结果的准确性。帝国竞争算法(ICA)是 Atashpaz 等人在 2007 年提出的一种基于帝国殖民竞争机制的智能优化算法。与其他智能优化算法相比, 帝国竞争算法的全局搜索能力更强、计算效率更高, 因此本文采用帝国竞争算法对支持向量机的参数进行优化, 从而提高结果的精度和可靠性。

2. 帝国竞争算法(ICA)

帝国竞争算法是一种基于帝国主义地竞争机制的社会启发算法, 具有较强的全局搜索能力, 主要分为以下 3 个步骤:

(1) 帝国的形成

① 首先在搜索空间中随机生成 n 个 $1 \times N$ 的向量作为 n 个国家:

$$\text{country}_i = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iN}] \quad (1)$$

式中: country_i ——第 i 个国家, $i = 1, 2, \dots, n$;

p_{ij} ——第 i 个国家的第 j 个社会属性, $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, N$ 。

② 帝国的划分

A) 以成本函数 c_i 来表示第 i 个国家的实力

$$c_i = f(\text{country}_i) = f(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iN}), i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

B) 以成本函数为依据将殖民地分配给帝国主义国家, 第 k 个帝国主义国家分到的殖民地数量为

$$NC_k = \text{round}(p_k \times N_{\text{col}}), k = 1, 2, \dots, N_{\text{imp}} \quad (3)$$

式中: round ——取整函数; p_k ——第 k 个帝国主义国家标准化的力量。

(2) 帝国的同化

殖民地国家的位置向帝国主义国家移动, 假定殖民地国家向帝国主义国家移动 x 个单位, 其中 x 服从如下的均匀分布:

$$x \sim U(0, \beta \times d), \beta > 1 \quad (4)$$

式中: β ——同化系数, 通常取 1.5~2;

d ——殖民地国家与帝国主义国家的距离。

为了扩大搜索范围, 对运动方向增加一个随机偏差 θ , 其中 θ 服从如下的均匀分布:

$$\theta \sim U(-\gamma, \gamma) \quad (5)$$

式中: γ ——描述偏离原方向的参数。

(3) 帝国主义国家的竞争

各个帝国的总成本主要由该帝国自身的成本函数决定, 同时属于该帝国的殖民地也会对该帝国的总成本产生一定的影响, 因此第 k 个帝国的总成本定义如下:

$$TC_k = \text{cost}(\text{imperialist}_k) + \xi \text{mean}(\text{cost}(\text{colonies of empire}_k)) \quad (6)$$

式中: cost ——国家的成本函数, 计算方法同式(2);

imperialist_k ——第 k 个帝国; mean ——求平均数;

$\text{colonies of empire}_k$ ——第 k 个帝国的殖民地;

ξ ——影响因子, 表示殖民地成本对帝国总成本的影响程度大小。

在竞争过程中, 帝国主义国家会通过占领其他帝国主义国家的殖民地来增大自己的势力, 最终剩下的一个帝国即为全局的最优解。

3. 支持向量机(SVM)

3.1. 支持向量机预测原理

支持向量机是一种基于统计学的监督学习模型, 主要用于解决小样本、非线性及高维模式的识别问题, 主要步骤如下:

(1) 设训练样本为

$$T = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)\} \quad (7)$$

式中: m ——样本容量。

设样本集在高维空间中的决策函数为:

$$f(x) = w\phi(x) + b \quad (8)$$

式中: w ——权向量; b ——偏置项; $\phi(x)$ ——非线性映射函数。

(2) 根据结构风险最小化原则, 建立支持向量机回归模型, 为了简化问题求解, 构建拉格朗日函数并引入核函数求解, 具体求解模型如下:

$$\begin{aligned} \max_{\alpha, \hat{\alpha}} L(\alpha_i, \hat{\alpha}_i) &= \sum_{i=1}^m y_i (\hat{\alpha}_i - \alpha_i) - \varepsilon (\hat{\alpha}_i + \alpha_i) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\hat{\alpha}_i - \alpha_i) (\hat{\alpha}_j - \alpha_j) K(x_i, x_j) \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^m (\hat{\alpha}_i - \alpha_i) &= 0 \\ 0 \leq \alpha_i, \hat{\alpha}_i &\leq C \end{aligned} \quad (9)$$

式中: $L(\alpha_i, \hat{\alpha}_i)$ ——拉格朗日函数; $K(x_i, x_j)$ ——核函数。

通过求解模型, 得到相应的决策函数:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m (\hat{\alpha}_i - \alpha_i) K(x_i, x) + b \quad (10)$$

本文选取高斯核函数作为支持向量机的核函数。

3.2. 帝国竞争算法优化支持向量机

对于支持向量机来说, 模型中的惩罚因子 C 、核函数参数 σ 直接影响模型性能的好坏, 若仅依靠经验确定参数取值不够可靠, 需要配合一些优化算法来确定取值。由于粒子群算法、麻雀搜索算法易陷入局部最优且收敛速度较慢, 因此本文采用帝国竞争算法来优化支持向量机的参数, 建立基于帝国竞争算法的支持向量机模型(ICA-SVM), 其过程如下:

1) 通过 ICA 算法求出最强帝国的位置, 并将该位置记为最佳位置 (C^*, σ^*) , 所对应的成本函数记为最佳成本函数 f^* ;

- 2) 持续进行迭代, 直至到达最大迭代次数 T , 最优参数组合为 (C^*, σ^*) ;
- 3) 将最优参数 C^* 和 σ^* 输入到支持向量机模型中进行预测。

与单一的 SVM 相比, ICA-SVM 的预测结果更准确。该算法在初始阶段随机生成若干个国家, 这些国家覆盖参数空间的不同区域, 这样可以避免遗漏潜在的最优解区域, 从而提高预测准确度。

相较于现有的智能优化算法易陷入局部最优、收敛效率低, 论文算法有如下优势: 第一, 在本算法的同化过程阶段, 通过同化系数 β 和随机偏差 θ 分别对移动距离和移动方向进行一定的随机扰动, 这种扰动可以帮助跳出当前区域, 有效避免陷入局部最优。第二, 在本算法的竞争过程阶段, 弱帝国被逐步淘汰, 减少无效计算, 强帝国通过竞争获得更多的殖民地, 这样可以集中资源优化潜力更大的解, 从而提升收敛速度。

为进一步检验 ICA-SVM 的预测准确度及收敛速度, 本文选用标准测试函数 $f(x) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$ 对

PSO-SVM、ICA-SVM 进行对比实验。

ICA 与 PSO 均属于随机元启发式算法, 单次运行结果不能客观反映算法真实性能。本文对 ICA-SVM 与 PSO-SVM 分别开展 30 次独立重复实验, 计算得到 R^2 、 $MAPE$ 、 $RMSE$ 等各评价指标的均值与标准差; 并且设置检验水平为 0.05, 采用 *Wilcoxon* 符号秩检验开展非参数检验。

实验结果见表 1, 结果表明 ICA-SVM 在拟合优度和预测精度上均显著优于 PSO-SVM。同时 *Wilcoxon* 符号秩检验 $P = 0.0021 < 0.05$, 说明 ICA-SVM 相比 PSO-SVM 的性能提升并非算法随机波动的偶然结果。

Table 1. Comparison of results between PSO-SVM and ICA-SVM

表 1. PSO-SVM 与 ICA-SVM 结果对比

模型	R^2	$MAPE$	$RMSE$	<i>Wilcoxon</i> 检验 P 值
PSO-SVM	0.965 ± 0.014	0.109 ± 0.011	0.022 ± 0.003	0.021
ICA-SVM	0.986 ± 0.005	0.081 ± 0.006	0.013 ± 0.002	-

同时, 从 PSO-SVM 和 ICA-SVM 的收敛曲线见图 1, ICA-SVM 在 25 代取得到最优解, 而 PSO-SVM 要在近 100 代时取得到最优解, ICA-SVM 找到最优解所需的迭代次数远小于 PSO-SVM, 这表明 ICA-SVM 的收敛速度更快。

4. 模型应用

4.1. 天津市城市居民人均可支配收入预测

城市居民人均可支配收入是衡量城市居民生活水平的重要指标。城市居民人均可支配收入受诸多因素的影响[7]-[13]。查阅天津市历年的相关数据, 再对这些数据进行 *Spearman* 相关性分析筛选出关联度大于 0.7 的影响因素, 分别为: 人均生产总值、产业结构、固定资产投资、商品房销售额、人均工资、失业人数, 文中采用上述 6 个与城市居民人均可支配收入密切相关的影响因素。

为直观反映各个影响因素对居民收入的驱动作用, 本文引入 SHAP 模型解释工具, 解释 ICA-SVM 模型, 计算全部样本 6 个输入特征对应的 SHAP 值。通过结果可知人均工资、人均生产总值的平均绝对 SHAP 值最高, 是提升天津市居民可支配收入的核心驱动因素; 失业人数 SHAP 表现为负向影响, 失业水平上升会压低居民可支配收入。

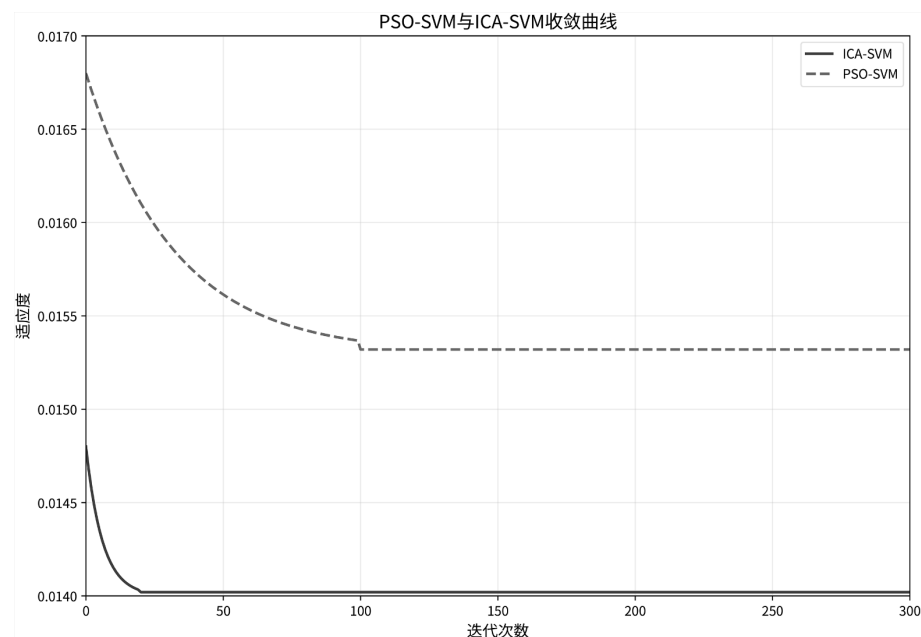


Figure 1. Convergence curves of PSO-SVM and ICA-SVM
图 1. PSO-SVM 与 ICA-SVM 收敛曲线

本文利用 ICA-SVM 模型预测天津市城市居民人均可支配收入。受样本规模约束，除划分 11 组训练样本、4 组测试样本用于可视化展示之外，主要采用留一法交叉验证 *LOOCV* 开展模型评估，*LOOCV* 评价指标： $R^2 = 0.989$ ， $MAPE = 0.017$ ， $RMSE = 0.011$ 。为了确保结果的有效性及准确性，首先对数据进行归一化处理：任选 11 组数据作为训练集，其余的 4 组数据作为测试集。国家总数决定了算法的探索能力和计算资源，国家总数越大搜索空间越全面，但计算成本会越大，所以应选择适当大小的国家数，在本文中国家总数取 200；帝国主义国家数量决定了搜索空间的划分和算法的多样性，取值过多可能导致搜索过于分散，过少则可能陷入局部最优，其值通常为国家总数的 10%到 20%，因此在本文中帝国主义国家数量取 20；最大迭代次数通常取 100 到 1000 之间，根据实验可知本问题最大迭代次数取 500；国家位置上限和国家位置下限分别为支持向量机中待确定参数的最大值和最小值，通常取 10 和 0.01，因此对算法的参数设置见表 2。利用帝国竞争算法寻找到的支持向量机的最佳参数 C 和 σ 分别为 9.859 和 0.027，寻找过程中的收敛曲线见图 2，采用 ICA-SVM 模型对测试集数据进行预测，预测值见图 3。

Table 2. Algorithm parameters
表 2. 算法参数

参数	取值
帝国主义国家数量 N_{imp}	20
殖民地国家数量 N_{col}	180
迭代次数 T	500
国家位置下限	0.01
国家位置上限	10

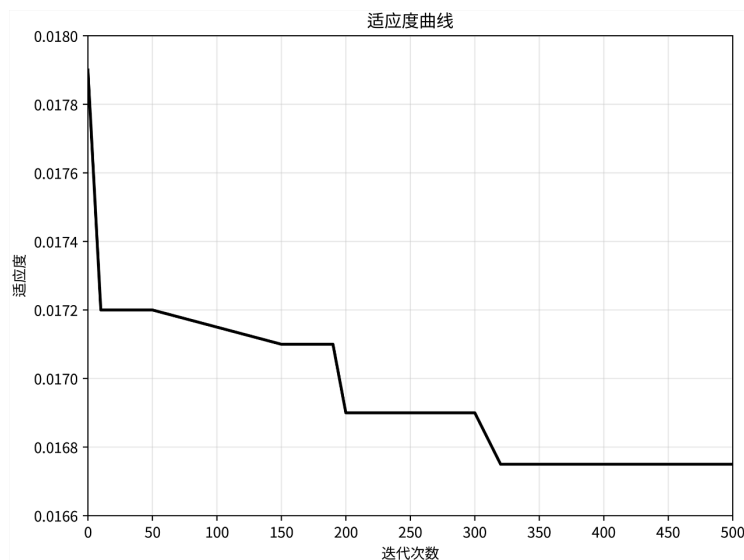


Figure 2. Fitness curve of per capita disposable income of urban residents in Tianjin
图 2. 天津市城市居民人均可支配收入适应度曲线

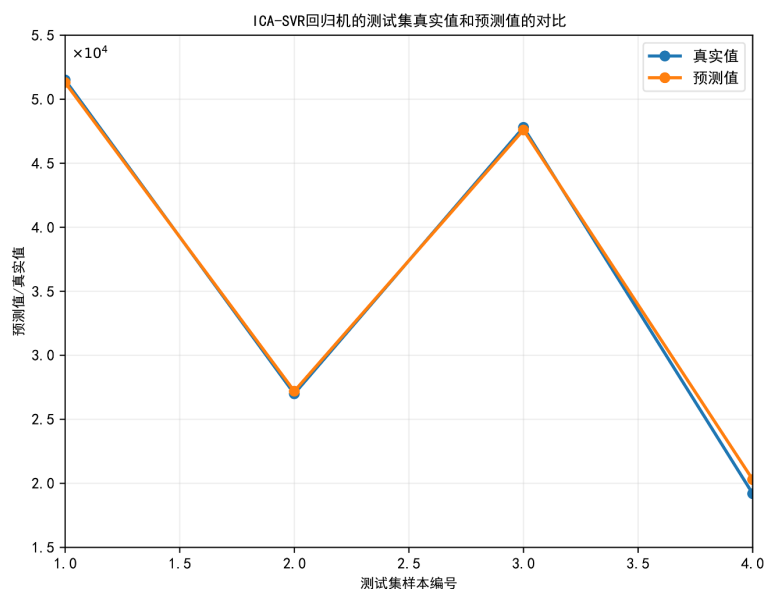


Figure 3. Prediction results of per capita disposable income of urban residents in Tianjin
图 3. 天津市城市居民人均可支配收入预测结果

此预测的决定系数 R^2 为 0.998, 与 1 较为接近, 这表明模型的拟合效果较好; 平均绝对百分比误差 $MAPE$ 为 0.015, 该值较小, 这表明模型预测的精度较高。

为验证该模型的合理性, 本文将预测得到的天津市城市居民人均可支配收入与人均消费支出进行对比分析。收集天津市城镇居民人均消费支出的历史数据, 城市居民人均可支配收入与人均消费支出数据对比见图 4。从整体趋势来看, 天津市的人均可支配收入和人均消费都呈现出逐年增长的趋势。在 2020 年, 人均消费出现了显著下降, 这一变化可能与消费模式的变化密切相关。虽然此时的收入仍然呈现增长趋势, 但居民消费倾向降低, 导致消费支出出现回落。从数据趋势来看, 天津市的人均可支配收入与人均消费呈现出较为一致的增长态势, 整体符合居民收入和消费支出之间的正相关关系。本文预测的人

均可支配收入与消费支出的变化趋势大致吻合，因此本文模型预测的收入数据是合理的。

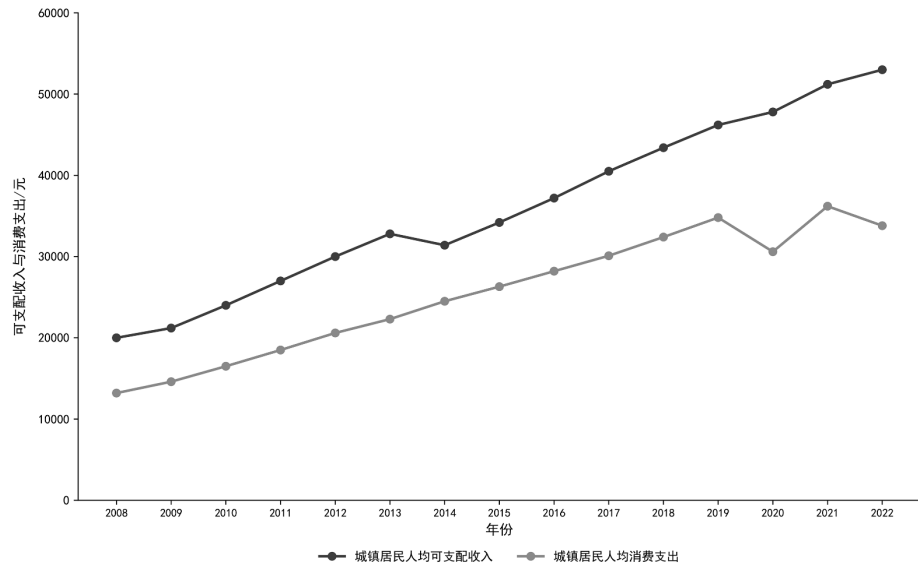


Figure 4. Per capita disposable income and consumption expenditure of urban residents in Tianjin
图 4. 天津市城市居民人均可支配收入与消费支出

为了进一步验证本文模型的合理性，根据本文预测数据利用 ARIMA 模型预测 2025 年到 2027 年的天津市城市居民人均可支配收入，预测结果见表 3，天津市城市居民人均可支配收入在 2025 年到 2027 年呈现逐年增长的趋势，从 2025 年的 55924.9 元逐步上升至 2027 年的 64206.2 元。这一趋势是合理且符合天津市当前经济发展态势的。近年来，天津市积极推动产业结构升级，着力发展高新技术产业、智能制造和数字经济，这些举措推动了经济增长和就业增加，进而提高了居民的收入水平。此外，天津市在社会保障、民生改善和公共服务领域的政策也为居民收入增长提供了坚实的支持。政府加大了对教育、医疗、住房等方面的投入，提升了居民的生活质量和收入水平。因此，结合天津市的实际情况和政策背景，可以认为这一预测结果是合理的。

Table 3. Prediction results of urban residents' disposable income in Tianjin from 2025 to 2027
表 3. 2025 年到 2027 年天津市城市居民可支配收入预测结果

年份	2025	2026	2027
预测结果/元	59724.9	61965.6	64206.2

4.2. 南京市城市居民可支配收入预测

为验证 ICA-SVM 模型的泛化能力，本研究将该模型应用于其他与天津市发展情况类似的城市进行实证分析。南京市作为长三角经济区的重要城市，其经济发展、居民收入水平与天津市具有一定的可比性，因此利用 ICA-SVM 模型对南京市城市居民人均可支配收入进行预测。根据南京统计年鉴收集从 2010 年到 2024 年 15 年的相关数据，利用 ICA-SVM 模型对南京市城市居民人均可支配收入进行预测，该模型找到的支持向量机的最佳参数 C 和 σ 分别为 9.064 和 0.037，寻找过程中的收敛曲线见图 5，预测值见图 6。此预测的决定系数 R^2 为 0.999，平均绝对百分比误差 $MAPE$ 为 0.008，这些指标都表明该模型的预测效果良好，因此 ICA-SVM 模型在不同地域经济结构下的适用性较高，说明该模型具有强的泛化能力。

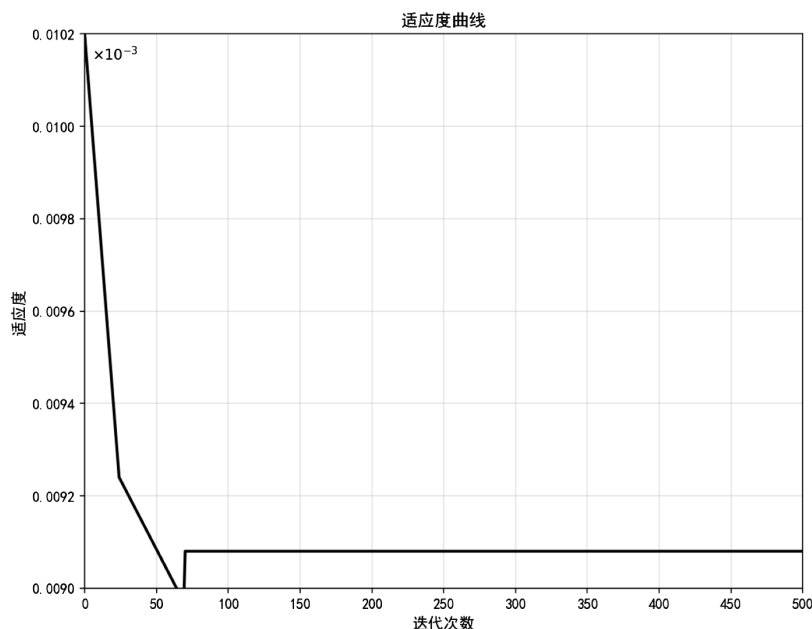


Figure 5. Fitness curve of urban residents' per capita disposable income in Nanjing
图 5. 南京市城市居民人均可支配收入适应度曲线

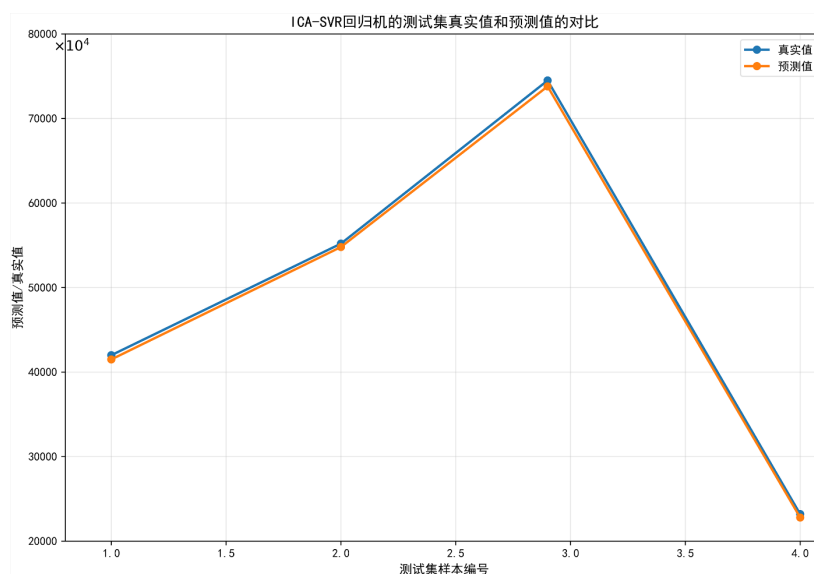


Figure 6. Prediction results of urban residents' per capita disposable income in Nanjing
图 6. 南京市城市居民人均可支配收入预测结果

为进一步验证 ICA-SVM 的预测准确度, 本文将其与 SVM 预测结果进行对比分析, 通过决定系数 R^2 和平均绝对百分比误差 $MAPE$ 两个指标进行对比, 结果见表 4, 相较于 SVM, ICA-SVM 的预测效果有了显著提高。

4.3. 天津市工程技术行业和管理行业可支配效能预测

在分析天津市居民收入情况时, 除了居民人均可支配收入之外还需要关注各个行业的人均可支配收入。仅使用行业平均工资只能够体现收入绝对水平, 忽略行业背后的要素成本。部分高薪行业往往伴随

着较高的教育投入、劳动时间成本，综合要素投入成本高，其要素转化收益未必占优。为此，本文新定义一个指标：可支配效能，即某行业人均可支配收入与人均 GDP 之比。该指标将行业人力资本投入、劳动时间投入、物质生产要素投入作为投入端，把行业劳动者实际获得的可支配收入作为产出端，衡量单位综合要素投入转化为劳动者可支配收入的效率。“可支配效能”弥补单一薪资指标的缺陷，重点衡量要素投入向劳动者实际可支配收入的转化效率，能够更加客观地评价行业收益水平。

Table 4. Comparison of SVM and ICA-SVM prediction results for urban residents’ per capita disposable income in Tianjin and Nanjing

表 4. SVM 与 ICA-SVM 预测天津市、南京市城市居民人均可支配收入结果对比

预测问题	模型	R^2	$MAPE$
天津市城市居民人均可支配收入	SVM	0.824	0.018
	ICA-SVM	0.998	0.015
南京市城市居民人均可支配收入	SVM	0.903	0.021
	ICA-SVM	0.999	0.008

工程技术行业和管理行业是天津市经济发展的关键领域，为了评估它们对天津市经济增长的推动作用及其潜在的经济贡献，本文对这两个行业的可支配效能进行预测。

将历史数据代入 ICA-SVM 模型，得到支持向量机的最佳参数见表 5，预测结果分别见图 7 和图 8。

Table 5. Optimal parameters of support vector machines for each prediction problem

表 5. 各预测问题中支持向量机的最佳参数

预测问题	C	σ
天津市工程技术行业人均可支配效能	9.995	0.019
天津市管理行业人均可支配效能	9.934	0.020

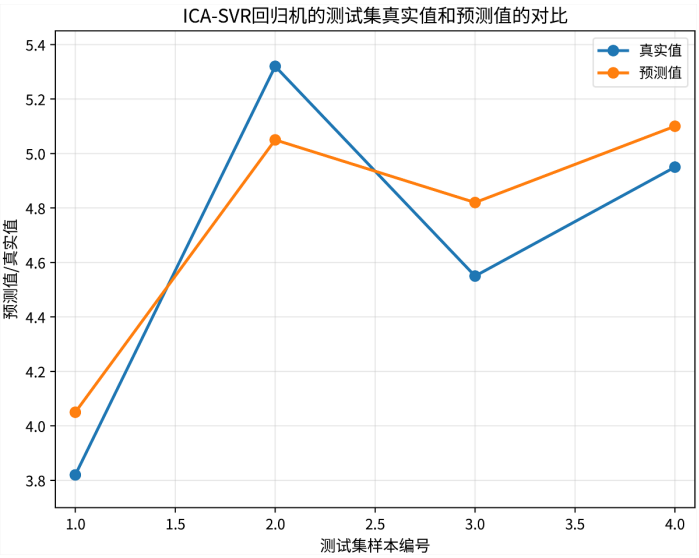


Figure 7. Prediction results of disposable efficiency in engineering and technology industry of Tianjin
图 7. 天津市工程技术行业可支配效能预测结果

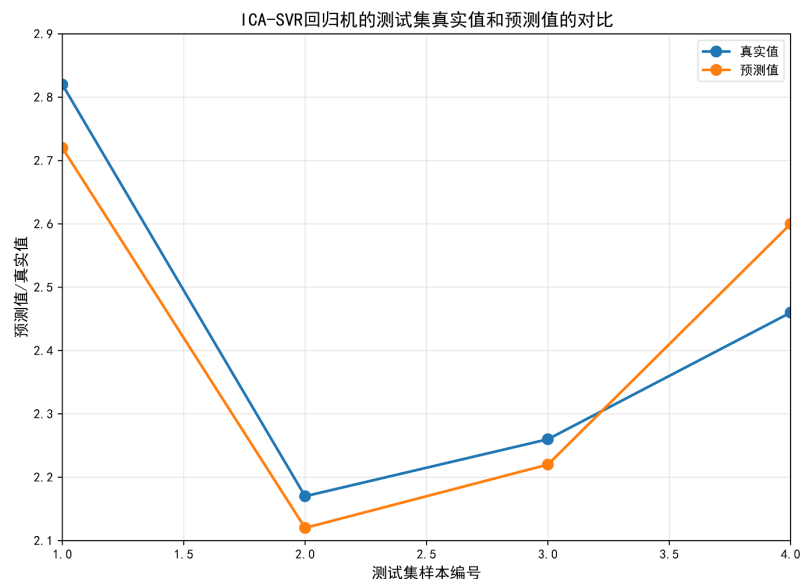


Figure 8. Prediction results of disposable efficiency in management industry of Tianjin

图 8. 天津市管理行业可支配效能预测结果

天津市工程技术人员和管理人员的可支配效能见图 9, 由此图可知, 工程技术行业的可支配效能呈上升趋势, 这表明该行业收入分配效能逐渐提高。尽管有时存在波动, 但整体趋势表明该行业在经济增长中的贡献增强, 未来可能继续增长。管理行业的可支配效能波动较大, 虽然部分时期有所回升, 但整体效能较低, 这表明管理行业在收入分配上的效能提升较慢。对比两行业可支配效能发现, 工程技术行业的可支配效能普遍高于管理行业, 这可能是因为工程技术行业受益于高附加值产业, 而管理行业面临激烈竞争和增速缓慢的挑战。尽管不同产业的可支配效能有所差异, 但在整体经济发展中, 应当注重优化收入分配机制, 确保经济增长的成果能够更加公平地分配给各行业和社会成员, 提升整体居民的可支配收入水平。

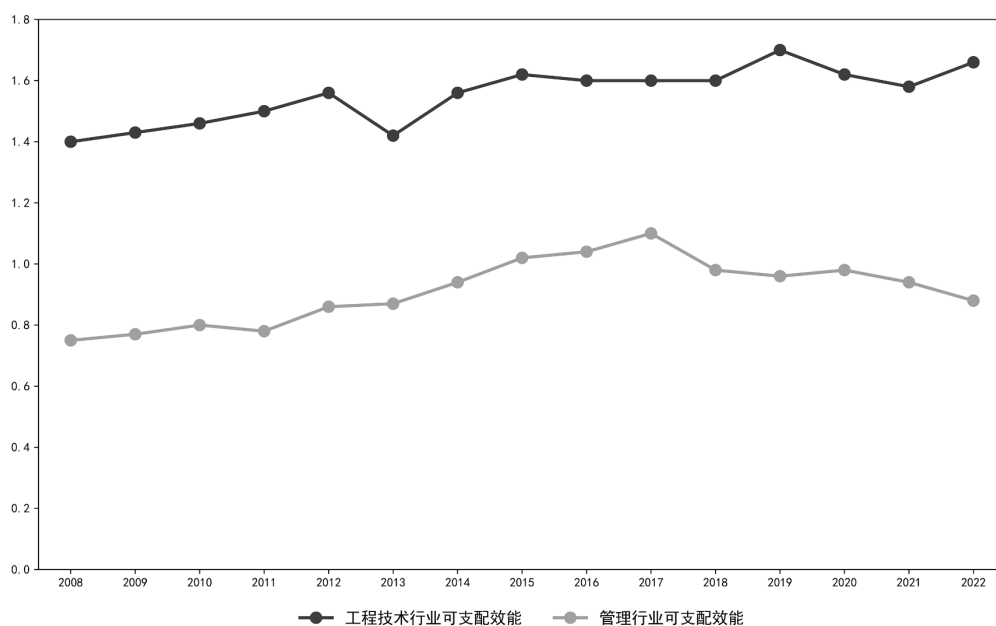


Figure 9. Disposable efficiency of engineering and technology industry and management industry in Tianjin

图 9. 天津市工程技术行业和管理行业可支配效能

5. 结论

针对利用部分智能优化算法优化支持向量机中的超参数而出现的易陷入局部最优、计算效率低等问题, 本文利用帝国竞争算法对支持向量机的参数进行优化, 提出了帝国竞争算法优化的支持向量机模型。该模型全局搜索能力较强, 能够通过全局搜索找到最优参数组合, 提高了模型的性能。此外, 该模型计算效率较高, 能够通过模拟帝国间的竞争与合作关系, 更高效地进行参数搜索。实验结果表明, 该模型的预测结果良好, 本文通过预测南京市城市居民人均可支配收入进一步说明 ICA-SVM 模型具有良好的合理性和优秀的泛化能力。此外, 本文将该模型拓展应用于预测天津市工程技术行业和管理行业的可支配效能, 这为政府制定相关政策提供了一定的参考价值。

参考文献

- [1] Kunjachen, L.M. and Kavitha, R. (2025) Advancing Cardiovascular Risk Prediction: A Fusion of SVM Models with Fuzzy Logic and the Sugeno Integral. *Biomedical Signal Processing and Control*, **106**, Article 107774. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2025.107774>
- [2] Sonowal, D., Sharma, A., Chetia, B., Dutta, N., Mazumdar, R., Bonjyotsna, A., *et al.* (2025) PIR Sensor Based Intruder Detection with Direction and Distance Estimation Supported by SVM. *Sensing and Imaging*, **26**, Article No. 30. <https://doi.org/10.1007/s11220-025-00566-w>
- [3] Basha, S.S. and Rao, A.N. (2025) Optimizing Solar Radiation Prediction: A Novel SVM Approach for Renewable Energy Systems. *International Journal of Information Technology*. <https://doi.org/10.1007/s41870-025-02469-1>
- [4] 凌菁, 万江华, 胡甜甜, 等. 基于 GS-CV SVM 的煤炭掺杂率软测量方法[J]. 中国测试, 2022, 48(8): 34-39.
- [5] 曾豫宁, 行鸿彦, 侯天浩, 等. 基于 MFCC 和 PSO-SVM 的雨量识别方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2025, 39(2): 83-91.
- [6] Huang, J., Lu, D., Lin, W. and Yang, Q. (2024) Enhancing Slope Stability Prediction through Integrated PCA-SSA-SVM Modeling: A Case Study of Longlian Expressway. *Frontiers in Earth Science*, **12**, Article ID: 1429601. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1429601>
- [7] 李珑琪. 居民人均可支配收入的影响因素和预测分析[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2026.
- [8] 金德友. 吉林省城镇居民人均可支配收入影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [9] 刘俊杰, 叶允最. 城镇居民消费影响因素研究: 基于广西的实证[J]. 广西师范大学学报(哲学社会科学版), 2015, 51(2): 15-22.
- [10] 陈学森. 京津冀城镇居民收入增长影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津财经大学, 2019.
- [11] 赵庆华, 王帆. 喀什市城镇居民人均可支配收入的影响因素分析[J]. 商业经济, 2020(10): 29-31.
- [12] 张会暄, 姜佳, 贺文倡, 等. 天津市城镇居民收入增长影响因素研究[J]. 中国集体经济, 2021(21): 15-16.
- [13] 王彩霞. 海口市城乡居民可支配收入预测与影响因素分析[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南师范大学, 2022.