

融合 CNN 与 LSTM 模型的我国柠檬价格预测研究

吴宏莉 刘松霖 杨富 朱麟文

成都信息工程大学物流学院

DOI:10.32629/as.v9i4.3912

[摘要] 针对柠檬价格非线性、高频波动的特征,本文构建多尺度融合的CNN-LSTM柠檬价格预测模型,通过卷积神经网络(CNN)提取价格局部波动特征,长短期记忆网络(LSTM)挖掘长期时序依赖关系,实现二者融合。利用该模型预测2025-2027年柠檬价格,其将呈整体温和上升、短期季节性波动、长期走势平稳的特征。本研究为柠檬及同类农产品价格预测提供了有效方法,可为产业决策提供科学支撑。

[关键词] 柠檬价格预测; 时间序列; 深度学习; 农产品价格

中图分类号: S666.5 **文献标识码:** A

Research on Lemon Price Forecasting in China Based on CNN-LSTM Fusion Model

Hongli Wu Songlin Liu Fu Yang Linwen Zhu

School of Logistics, Chengdu University of Information Technology

[Abstract] Aiming at the nonlinear and high-frequency fluctuation characteristics of lemon prices, this paper constructs a multi-scale fused CNN-LSTM model for lemon price forecasting. The convolutional neural network (CNN) is used to extract the local fluctuation features of prices, and the long short-term memory (LSTM) network is applied to mine the long-term time-series dependence, so as to realize the fusion of the two models. Using this model to forecast lemon prices from 2025 to 2027, the results show that the price will present the characteristics of a moderate overall upward trend, short-term seasonal fluctuations, and stable long-term trend. This study provides an effective method for price forecasting of lemons and similar agricultural products, and can offer scientific support for industrial decision-making.

[Key words] Lemon price forecasting; time series; deep learning; agricultural product price

1 引言

柠檬作为我国重要的特色经济水果,广泛应用于饮品加工、餐饮消费、日化制造等多个领域,其市场价格不仅直接影响种植户、经销商、加工企业等产业链主体的经营决策,也与农产品市场整体供需平衡及产业高质量发展密切相关。受季节性产销、气候条件变化、市场供需波动、节假日消费效应等多重因素交织影响,我国柠檬价格呈现出非线性、高频波动的典型特征,价格走势的复杂性大幅提升了精准预测的难度,也对传统预测模型的适配性提出了更高要求。

当前农产品价格预测领域,传统时间序列模型如ARIMA、GARCH等虽在线性时序数据建模中应用广泛,但难以捕捉柠檬价格中存在的非线性关联与长期时序依赖关系^[1,2];单一深度学习模型如纯卷积神经网络(CNN)或纯长短期记忆网络(LSTM)也存在局限,CNN擅长局部特征提取但对长期时序规律挖掘不足^[3],LSTM能捕捉时序依赖却易忽略价格的局部波动细节^[4],二者单独使用均难以全面刻画柠檬价格的复杂变化规律。CNN的局部特征提取与参数共享优势,可高效捕捉价格序列中的短期波动

模式^[5];LSTM的门控机制则能有效解决传统循环神经网络的长期依赖问题^[6],挖掘价格的长期时序关联。基于此,本文将CNN与LSTM深度融合,构建多尺度融合的CNN-LSTM柠檬价格预测模型,实现对柠檬价格局部波动特征与长期时序规律的挖掘。

本研究以2020年1月-2025年1月安岳柠檬综合价格指数月度数据为实验样本,利用优化后的模型对2025-2027年我国柠檬价格走势进行预测。研究旨在为柠檬价格预测提供一种高效的深度学习方法,为柠檬产业链各主体的经营决策提供科学的理论参考。

2 基于CNN-LSTM的柠檬价格预测模型构建

2.1 CNN与LSTM方法

(1)卷积神经网络(CNN)。卷积神经网络(CNN)核心优势为局部特征提取与参数共享,可有效捕捉数据空间及局部关联信息,降低计算复杂度与拟合偏差,结构由输入层、卷积层、池化层、全连接层及输出层构成。输入层 $X \in \mathbb{R}^{L \times H \times W}$ (L为序列长度、H为特征宽度、W为数据深度)格式接收原始时序数据,其设计影响模型训练效率与预测性能;卷积层通过 $k \times 1$ 一维卷积以步幅s滑动,

经 $c_i = \sum_{m=0}^{k-1} x_{i+m} \cdot K_m$ 完成局部特征提取,采用互相关运算简化学习过程。池化层对特征图降维,通过最大/平均池化保留关键特征,实现降维、抗干扰、抑过拟合与扩感受野的效果;全连接层将多维特征映射为一维向量 $V \in \mathbb{R}^n$,亦可由 1×1 卷积层替代,在柠檬价格预测中可提取短期供需、节日效应等局部特征,为时序建模提供核心价格变化模式信息。

(2)长短期记忆网络(LSTM)。LSTM是RNN的改进模型,能解决时序数据长期依赖问题,是时序建模的经典深度学习算法。其核心以细胞状态 C_t 为信息载体,结合遗忘门、输入门、输出门的门控机制,通过对时序信息的选择性处理,实现长期信息的精准保存与挖掘, C_t 的链式结构可最大限度减少时序信息丢失。三门控机制均以Sigmoid激活函数 $\sigma(\cdot)$ 调控信息传递权重:遗忘门筛选历史细胞状态信息,输入门确定新信息权重并生成候选细胞状态,完成 $c_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot \tilde{c}_t$ 的状态更新;输出门结合 $\tanh(\cdot)$ 生成当前隐藏状态 $h_t = o_t \odot \tanh(C_t)$ (\odot 为元素点积)。在柠檬价格预测中,LSTM可捕捉价格季节性波动、年度供需周期等长期时序依赖,适配其动态变化规律。

2.2 基于CNN-LSTM的柠檬价格预测模型

CNN-LSTM混合模型融合空间局部特征提取与时间序列建模能力,结合CNN局部关联特征捕捉、LSTM长期时序依赖挖掘的优势,可全面挖掘价格时序数据内在规律,提升预测精度,适配柠檬价格这类复杂农产品的预测需求。模型采用两阶段级联架构,先将柠檬价格时序数据输入CNN模块,经卷积、池化提取含短期波动的局部特征序列 F_{CNN} ,再将其输入LSTM模块,通过门控机制挖掘长期时序关联,最终经全连接层输出价格预测值,既保留价格局部细节、挖掘短期波动规律,又融合短期特征捕捉长期趋势,弥补单一模型特征刻画的不足。

本文构建的CNN-LSTM柠檬价格预测模型为模块化级联结构,由输入层、CNN局部特征提取模块、LSTM时序建模模块、全连接层及输出层依次组成。预处理后的价格时序特征数据 $X \in \mathbb{R}^{T \times F}$ (T 为时间步长, F 为特征维度) 输入CNN模块提取局部关联特征序列 F_{CNN} ,该序列作为LSTM模块输入完成长期时序依赖建模,最终经全连接层特征映射与维度压缩,输出单一维度的柠檬价格预测值 \tilde{y} 。

本模型核心参数与训练策略设计为: CNN模块设1层Conv1D卷积层,配置64个卷积滤波器,激活函数选用 $\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$,以多尺寸一维卷积核实现价格序列多尺度局部特征提取; LSTM模块设1层LSTM层,含64个隐藏单元,捕捉价格长期时序依赖;全连接层配置32个神经元,同样采用ReLU激活函数,将高维特征映射为柠檬价格预测值。优化层面引入Dropout层抑制模型过拟合,优化器选用Adam算法并设定学习率 $\eta = 0.0001$,平衡收敛速度与训练稳定性;训练参数设批量大小 $\text{batch} = 8$ 、最大训练轮

数 $\text{epoch} = 300$,保障模型充分训练且避免过拟合。

2.3 数据预处理与模型评估指标

(1)数据预处理。为消除量纲干扰,提升模型训练效率与稳定性,需对原始柠檬价格指数序列进行预处理,包含最小-最大归一化与滑动窗口样本构造两个核心步骤,具体操作如下:

①最小-最大归一化:将价格指数序列 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_T\}$ 映射至 $[0, 1]$ 区间,消除量纲影响,计算公式为:

$$p_i^* = \frac{p_i - \min(P)}{\max(P) - \min(P)}, i = 1, 2, \dots, T$$

式中, p_i^* 为归一化后的值, T 为数据长度。

②滑动窗口法构造样本:滑动窗口法构造样本:采用时间步长 $L = 12$ 的滑动窗口构建监督学习样本,即利用前12个月的价格序列预测次月价格,输入特征序列与预测目标值分别定义为:

$$X_t = \{p_{t-L}, p_{t-L-1}, \dots, p_{t-1}\}, y_t = p_t$$

(2)模型评估指标。为全面、量化评估CNN-LSTM模型的预测性能,选取均方误差MSE、均方根误差RMSE、决定系数 R^2 、平均绝对百分比误差MAPE作为核心评估指标,各指标计算公式如下:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

式中, N 为样本数量, y_i 为真实值, \hat{y}_i 为模型预测值, \bar{y} 为真实值的平均值。MSE、RMSE、MAPE值越小,表明模型预测误差越小; R^2 越接近1,表明模型对数据的拟合程度与解释能力越强。

3 数值实验

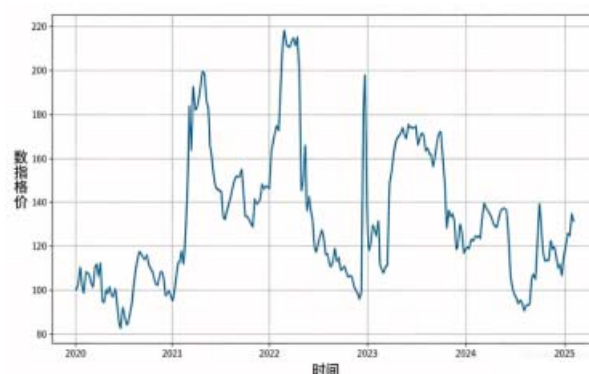


图1 我国柠檬2020-2025年价格指数

本次实验数据来源于“安岳·中国柠檬产业指数”,数据国家发展改革委主管的中国价格信息网公开发布。本研究采集2020年1月至2025年1月的安岳柠檬产地批发价格指数月度数据,经异常值剔除与标准化处理后,形成完整时间序列数据集。如图1所示。该指数是以安岳柠檬市场交易价格为编制基准的农产品

细分价格指数,综合了不同品级、主流交易渠道的成交价格并经加权平均得出,能规避偶然交易等因素干扰,指数值高低直观反映价格相对基期的涨跌,是产业主体判断行情、政府制定调控政策的重要参考。

为验证CNN-LSTM模型对柠檬价格时序趋势的捕捉能力,本部分对2025年1月至2027年12月的柠檬价格指数展开预测,挖掘未来价格变化规律与特征。基于该模型对2025年1月至2027年12月柠檬价格指数的预测结果,预测得到未来三年我国柠檬价格呈现整体温和上升、短期季节性波动、长期走势平稳的特征。从整体走势来看,2025-2027年柠檬价格指数呈缓慢上升态势,年均涨幅保持在合理区间。从短期波动来看,价格仍将受季节性产销规律影响,每年鲜果供应淡季价格指数出现阶段性小幅回落,而在节日消费高峰期价格指数呈现阶段性小幅上升,季节性波动特征明显但波动幅度趋于平缓。

模型对柠檬价格趋势的拟合与未来走势的预测,体现了CNN-LSTM融合模型在农产品价格时间序列预测中的应用价值。拟合结果能够为产业主体复盘价格变化规律、分析市场影响因素提供数据支撑,而未来价格走势的预测结果,可帮助柠檬种植户合理规划种植规模、把握上市时机,协助经销商与加工企业做好库存管理、成本控制与市场布局。

4 总结

本文针对柠檬价格非线性、高频波动的特征及传统预测模型的局限性,构建了多尺度融合的CNN-LSTM柠檬价格预测模型,该模型通过CNN模块提取柠檬价格的局部波动特征,结合LSTM模块挖掘其长期时序依赖关系,经针对性的参数与训练策略优化,弥补了单一模型特征刻画不全面的问题。以2020年1月至2025年1月安岳柠檬综合价格指数月度数据为样本的验证实验中,表

明模型能准确捕捉价格的整体趋势与短期波动,拟合能力和泛化能力良好。基于该模型对柠檬价格的预测显示,未来我国柠檬价格将呈整体温和上升、短期季节性波动明显、长期走势趋于平稳的特征,这一趋势也预示着我国柠檬产业成熟度将持续提升。本研究构建的CNN-LSTM模型为柠檬价格预测提供了有效的深度学习方法,也为同类农产品价格预测提供了参考,后续研究可通过融入注意力机制或构建价格预警系统等方式,进一步优化模型性能。

[基金项目]

成都信息工程大学大学生创新创业训练计划项目(S202510621068)。

[参考文献]

- [1]王夷龙,张生润,唐小卫,等.基于CNN-LSTM混合模型的航空公司机票价格预测[J].北京交通大学学报,2024,48(5):21-29.
- [2]尚俊平,李文浩,席磊,等.基于EMD-PSO-ARIMA模型的农产品价格预测[J].湖北农业科学,2024,63(08):121-125.
- [3]赖玉莲,马琳娟,张延林.经验模态分解-图神经网络算法预测农产品价格[J].济南大学学报(自然科学版),2024,38(03).
- [4]王晓蕾,张艳,柳平增.基于LSTM与GARCH族组合模型的苹果价格预测分析[J].山东农业大学学报,2021,52(6):1055-1062.
- [5]王云花,邓翠艳,姚旭清.基于混合CNN-LSTM注意力机制基站电费稽核方法[J].通信与信息技术,2025,(05):90-94.
- [6]燕学博,曹世鑫.基于CNN-LSTM-Attention组合模型对我国货运量时序预测对比[J].物流科技,2024,47(14):5-9.

作者简介:

吴宏莉(2005--),女,汉族,四川自贡人,本科,成都信息工程大学,农产品供应链管理。