

Practice of Inventory Optimization for Shaanxi Cultural and Creative E-commerce Based on Genetic Algorithm

Junhua Liu Xiaojuan Gao Meng Wang Fengping Wang Ying Li

Xi'an Polytechnic University, School of Computer Science, Xi'an, Shaanxi, 710048, China

Abstract

Aiming at the inventory management problems of "Qinyun Cultural and Creative" (a cultural and creative e-commerce platform in Shaanxi), namely stockouts of popular products and overstock of niche products, this case constructs an inventory replenishment optimization model using genetic algorithm. In the teaching process, students are guided to complete the full-process practice from problem analysis and model construction to genetic algorithm design, coding implementation and result analysis. The coding strategy of genetic algorithm, the design of selection, crossover and mutation operators, and the construction of fitness function are explained in detail, and the algorithm is implemented through Python. Finally, by comparing the inventory management effects before and after optimization, the effectiveness of genetic algorithm in reducing total cost and improving inventory structure is quantitatively demonstrated, providing a teaching example with both theoretical depth and practical value for courses such as Computational Intelligence.

Keywords

Genetic Algorithm; Inventory Optimization; Cultural and Creative E-commerce; Computational Intelligence

基于遗传算法的陕西文创电商库存优化实践

刘俊华 高晓娟 王蒙 王峰萍 李迎

西安工程大学计算机科学学院, 中国·陕西 西安 710048

摘要

本案例针对陕西文创电商“秦韵文创”库存管理存在的热门商品缺货、小众商品积压的问题,运用遗传算法构建库存补货优化模型。教学过程引导学生完成从问题分析、模型构建,到遗传算法设计、编码实现与结果分析的全流程实践。详细讲解遗传算法的编码策略、选择交叉变异算子设计及适应度函数构建,并通过 Python 实现算法。最终对比优化前后的库存管理效果,量化展示遗传算法在降低总成本、改善库存结构方面的成效,为计算智能等课程提供兼具理论深度与实践价值的教学范例。

关键词

遗传算法; 库存优化; 文创电商; 计算智能

1 背景信息

在文化产业数字化发展浪潮下,文创电商迎来快速增

【基金项目】西安工程大学教改重点项目“大数据背景下《计算智能》课程教学质量提升的路径探究”(项目编号: 24JGZD14);“基于虚拟教研室的专创融合大数据专业课程体系研究”(项目编号: 23JGZD10);西安工程大学校级本科一流课程“线上线下混合式一流本科课程”《大数据技术原理与应用》。

【作者简介】刘俊华(1988-),女,中国山西忻州人,博士,副教授,从事约束多目标优化问题求解与智能优化算法设计。

长,但库存管理成为制约其发展的关键瓶颈。陕西作为历史文化大省,文创资源丰富,“秦韵文创”电商平台依托地方特色,推出兵马俑模型、陕北剪纸等文创产品,其中非遗类、限定类商品占比超 40%,这类商品的非标准化特性进一步增加了库存管理难度。然而,粗放的库存管理模式使其面临严峻挑战:热门商品因需求预测不准,缺货率高达 25%,导致客户流失、品牌形象受损;小众商品缺乏精准销售预估,库存积压严重,仓储成本占运营成本超 30%,部分积压商品甚至因款式过时被迫折价处理,进一步侵蚀利润。

传统经验式补货方法,依赖工作人员对历史销量的主观判断,难以应对文创产品需求波动大、季节性强、品类复杂的特点——如旅游旺季(3-5月、9-11月)兵马俑模型销量较淡季翻倍,而陕北剪纸等手作商品受节日订单影响显著,春节前销量可达平日 3 倍。随着市场竞争加剧,电商平

台需在满足客户需求的同时,降低运营成本。遗传算法作为计算智能领域经典的全局优化方法,通过模拟生物进化过程,能有效处理多约束组合优化问题,可同时兼顾库存容量、资金预算、商品需求特性等多维度约束,为解决“秦韵文创”库存难题提供了技术路径。同时,将该算法应用于文创电商库存优化教学,有助于学生掌握智能算法实践应用,契合计算机科学、物流管理等专业课程的教学目标与产业人才培养需求。

2 问题导入与建模

课程开始,教师向学生展示“秦韵文创”平台10类典型文创商品近一年的历史销量数据。以兵马俑模型为例,旅游旺季月均销量可达500件,淡季则骤降至100件;陕北剪纸这类小众商品,月均销量仅在50-80件波动。同时,给出详细的成本数据:仓储成本方面,包含库存占用资金成本(年利率10%)、仓储空间租赁成本(每立方米每月50元);缺货损失标准为,热门商品每缺货一件损失客户信任成本50元,小众商品每缺货一件损失20元。引导学生深入分析当前库存管理现状。通过讨论,学生发现热门商品缺货导致订单流失,以兵马俑模型为例,缺货期间每月平均流失订单约120单;小众商品库存积压严重,如陕北剪纸,现有库存已达月均销量的10倍,造成大量资金占用。在此基础上,明确以遗传算法优化各类商品补货量,实现库存成本与缺货成本之和最小化为目标。

设商品种类数为 n (在本案例中 $n=10$,补货量向量为

$x=[x_1, x_2, \dots, x_n]$,其中 x_i 表示第 i 类商品的补货量。

2.1 目标函数

库存成本包括库存占用资金成本、仓储空间租赁成本等,设第 i 类商品单位库存成本为 c_{i1} ;缺货成本与缺货数量相关,第 i 类商品单位缺货成本为 c_{i2} ,历史销量为 d_i 。则总成本函数 $C(x)$ 为:

$$C(x) = \sum_{i=1}^{10} (c_{i1} \cdot x_i + c_{i2} \cdot \max(0, d_i - x_i))$$

优化目标为最小化总成本,即: $\min_x C(x)$

2.2 约束条件

(1) 库存容量约束:仓库最大存储容量 $S=200$ 立方米,第 i 类商品单位占用仓储空间为 s_i (如兵马俑模型单位占用立方米,陕北剪纸单位占用立方米),则有 $(\sum_{i=1}^{10} s_i \cdot x_i \leq 200)$ 。

(2) 补货周期约束:供应商规定补货间隔不少于 $T=7$ 天,该约束在算法实现阶段通过逻辑判断确保两次补货时间间隔符合要求。

(3) 资金预算约束:单次补货总金额预算 $B=100000$ 元,第 i 类商品单位采购成本为 p_i ,需满足 $(\sum_{i=1}^{10} p_i \cdot x_i \leq 100000)$ 。

(4) 此外,补货量 x_i 需为非负整数,即 $(x_i \geq 0, x_i \in \mathbb{Z}, i=1, 2, \dots, 10)$ 。

在教师的指导下,学生将上述实际问题抽象为完整的

数学规划模型,为后续遗传算法的设计与实现奠定坚实基础,清晰地建立起从实际业务场景到数学模型的转换思维。

3 遗传算法设计

3.1 编码策略

采用整数编码,将染色体定义为10维向量,每个维度对应一类商品的补货量。例如 $[150, 80, 120, \dots]$,分别代表不同文创商品的补货数量。这种编码方式直观易懂,符合库存补货量为整数的实际情况,便于后续遗传操作。

3.2 遗传算子讲解

(1) 选择算子:采用轮盘赌选择法。详细推导个体适应度与选择概率计算公式,如个体的选择概率,其中为个体的适应度,为种群规模。通过模拟10个个体的选择过程示例,展示如何依据概率将个体选入下一代种群,体现优质个体更易被选中的机制。

(2) 交叉算子:运用单点交叉。通过绘制示意图,清晰呈现随机选择交叉点后,两个父代染色体交换基因片段的过程。如父代染色体A $[100, 50, 80, 60]$ 与B $[120, 70, 90, 40]$,在第2个基因位交叉后,产生子代染色体A' $[100, 70, 90, 40]$ 与B' $[120, 50, 80, 60]$,实现基因重组。

(3) 变异算子:实施随机变异。设定变异概率为0.01,解释在种群进化过程中,随机改变染色体上基因位的值,如将某染色体 $[150, 80, 120, 90]$ 的第3个基因位从120变为130,避免算法陷入局部最优。

3.3 适应度函数构建

将库存成本与缺货成本之和作为总成本,直接将总成本计算公式映射为适应度函数。由于是最小化问题,采用,其中为库存成本与缺货成本之和,使适应度值越高对应总成本越低,便于算法筛选最优解。

4 算法实现与调试

4.1 Python 代码框架解析

提供完整Python代码框架。种群初始化部分,使用numpy库生成随机整数数组作为初始种群,如`population = np.random.randint(0, 200, size=(pop_size, num_products))`,其中`pop_size`为种群规模,`num_products`为商品种类数。遗传操作迭代模块,详细实现选择、交叉、变异函数。选择函数中,依据轮盘赌算法计算概率并选择个体;交叉函数通过随机确定交叉点,完成染色体基因片段交换;变异函数根据变异概率随机改变基因值。终止条件判断采用达到最大迭代次数(如500次)或连续50次迭代适应度值变化小于0.01时停止算法。

4.2 分组编程实践

将学生分为5-6人一组,每组负责完成遗传算法编码。教师巡回指导,针对学生编码过程中遇到的问题进行解答。如部分学生在编码转换时出现数据类型错误,教师指导正确使用数据类型转换函数;在遗传算子实现方面,对交叉点选

择逻辑错误、变异操作范围不当等问题进行纠正。同时,引导学生调试参数,探索种群规模从 50 增加到 100、交叉概率从 0.6 调整到 0.8、变异概率从 0.01 变为 0.02 时,算法收敛速度和解质量的变化情况。

5 结果分析与总结

5.1 实验验证

将遗传算法优化后的补货方案与人工经验补货方案对比。人工方案基于历史平均销量与主观经验制定,遗传算法方案通过迭代计算得出。从总成本来看,人工方案总成本为 85 万元,遗传算法方案降至 66.3 万元,降低 22%;缺货率方面,人工方案热门商品缺货率 25%,优化后降至 8%;库存周转率从人工方案的每年 3 次提升至 5 次。通过图表直观展示数据对比,清晰呈现遗传算法的优化效果。

5.2 参数敏感性分析

组织学生调整遗传算法关键参数。当种群规模从 50 增大到 100 时,算法收敛到较优解的速度加快,但计算时间增加;交叉概率从 0.6 提高到 0.8,种群多样性增加,前期收敛速度变快,但后期易陷入局部最优;变异概率从 0.01 提升到 0.02,一定程度避免局部最优,但过高会导致算法不稳定。学生通过实验分析,深入理解参数设置对算法性能的影响。

5.3 拓展思考

开展课堂讨论,引导学生思考遗传算法在文创产品季节性需求预测中的应用。分析文创产品需求受旅游旺季、节日促销等因素影响的特点,探讨如何结合时间序列数据改进遗传算法。同时,对比遗传算法与粒子群优化算法在库存优化场景中的差异,如粒子群优化算法收敛速度快但易早熟,遗传算法全局搜索能力强但计算复杂度较高,拓宽学生对智

能算法应用的认知。

6 结语

本案例通过“秦韵文创”库存优化实践,将遗传算法理论与电商库存管理实际紧密结合,不仅让学生在问题建模、算法设计、编程实现与结果分析的全流程学习中,扎实掌握遗传算法核心原理与应用方法,更通过分组编程、参数调试等实践环节,提升了团队协作与问题解决能力。学生在对比优化前后数据时,直观感受到智能算法在降低成本、改善库存结构中的价值,进一步理解了技术与产业融合的意义。同时,案例教学激发了学生对智能优化算法研究与应用的兴趣,为其未来在物流管理、电商运营等领域运用智能技术解决问题奠定基础。后续可结合大数据需求预测技术优化模型输入,进一步提升案例的产业适配性与教学深度。

参考文献

- [1] 毕晓君. 计算智能[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
- [2] 黄竟伟, 朱福喜, 康立山. 计算智能[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [3] 王凌. 智能优化算法及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] 包子阳, 余继周. 智能优化算法及其 MATLAB 实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2018.
- [5] 范旭, 陈克伟, 魏曙光. Python 智能优化算法——从原理到代码实现应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2022.
- [6] 李军, 周永务. 遗传算法在库存管理中的应用综述[J]. 管理工程学报, 2003, 17(1): 82-86.
- [7] Zhang, Y., & Wang, X. Inventory optimization based on genetic algorithm for e-commerce supply chain[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1885(1): 012054.