

一站式宠物托管服务管理平台设计与实现

陈寒睿^{1*} 仪海灿² 马玉英² 周子墨² 张腾宇²

1 洛阳理工学院

2 山东工程职业技术大学

DOI:10.32629/acair.v4i3.21358

[摘要] 目的: 针对宠物托管门店预约分散、排栏依赖经验、照护证据链不完整等问题,设计一站式宠物托管服务管理平台。方法: 将栏位安排抽象为带硬约束和软目标的资源分配问题,构建宠物档案、托管订单、栏位资源、照护任务和风险事件等对象,并提出可复核的贪心匹配规则。结果: 30 d仿真样本显示,本文规则较人工排栏和通用先到先得预约具有更高栏位利用率和更低人工改派率;预约创建、栏位查询和照护提交P95响应时间分别为214、176和142 ms,异常事件平均确认时间为8.6 min。结论: 平台将栏位调度、照护记录和风险事件纳入可追溯链路,可为宠物托管门店提供面向活体照护风险的过程管理方法。

[关键词] 宠物托管; 约束资源分配; 栏位调度; 照护闭环; 业务指标

中图分类号: F124.5 **文献标识码:** A

Design and Implementation of a One-Stop Pet Boarding Service Management Platform

Hanrui Chen^{1*} Haican Yi² Yuying Ma² Zimo Zhou² Tengyu Zhang²

1 Luoyang Institute of Science and Technology

2 Shandong University of Engineering and Vocational Technology

[Abstract] Objective: To address the challenges of fragmented booking, experience-based kennel allocation, and incomplete care evidence chains in pet boarding stores, a one-stop service management platform is designed. Methods: The kennel allocation task was modeled as a constrained resource allocation problem, and an auditable greedy matching strategy was proposed. Core entities such as pet profiles, boarding orders, and risk events were constructed to form a traceable care loop. Results: Simulation results over a 30-day period demonstrate that, compared with manual allocation and first-come-first-served (FCFS) baselines, the proposed strategy significantly improves kennel utilization (88.9%) and reduces the manual reassignment rate (6.8%). The P95 response times for booking creation, kennel query, and care submission were 214, 176, and 142 ms, respectively. Conclusion: The platform supports traceable process management for live-animal boarding services, providing a verifiable approach for risk-oriented operational management.

[Key words] pet boarding; constrained resource allocation; kennel scheduling; care loop; business metrics

1 引言

节假日前后,宠物托管门店最先被挤满的常是前台排栏表。宠主询问空位,护理员核免疫和性格,店长还要看清洁、接送和员工负荷。若这些判断散落在电话、聊天记录和纸质交接单里,订单虽可成立,后续照护却难以连续追踪。动物集中照护指南和犬猫免疫指南均强调记录、卫生、疾病预防和个体观察^[1-3],这使宠物托管不同于一般房态预约。

本文围绕3个问题展开: 预约阶段减少栏位冲突,托管阶段让喂食、用药、异常上报留下证据,数据流转中兼顾体验与隐私。研究目标不是把门店经验包装成黑箱算法,而是把可检查规则、人工复核和运营指标放入同一系统框架。

2 相关工作

服务预约系统通常以时间窗、资源容量和等待成本为核心变量。医疗预约研究进一步讨论患者等待、资源闲置和服务水平约束^[4],但对象多为诊室、医生和患者队列。宠物托管时间窗更长,还受物种、体型、相邻性格和清洁状态限制,直接套用通用预约模型会漏掉活体照护中的关键冲突。

资源调度和车间调度研究指出,多重约束会带来组合爆炸,经典作业车间和流水车间调度具有较高复杂度^[5-8]。护理排班研究也表明,软硬约束并存时,偏好满足、负荷均衡和安全边界难以同时最优^[9]。因此,栏位调度不宜只写成简单排序,而应先承认其约束资源分配属性。

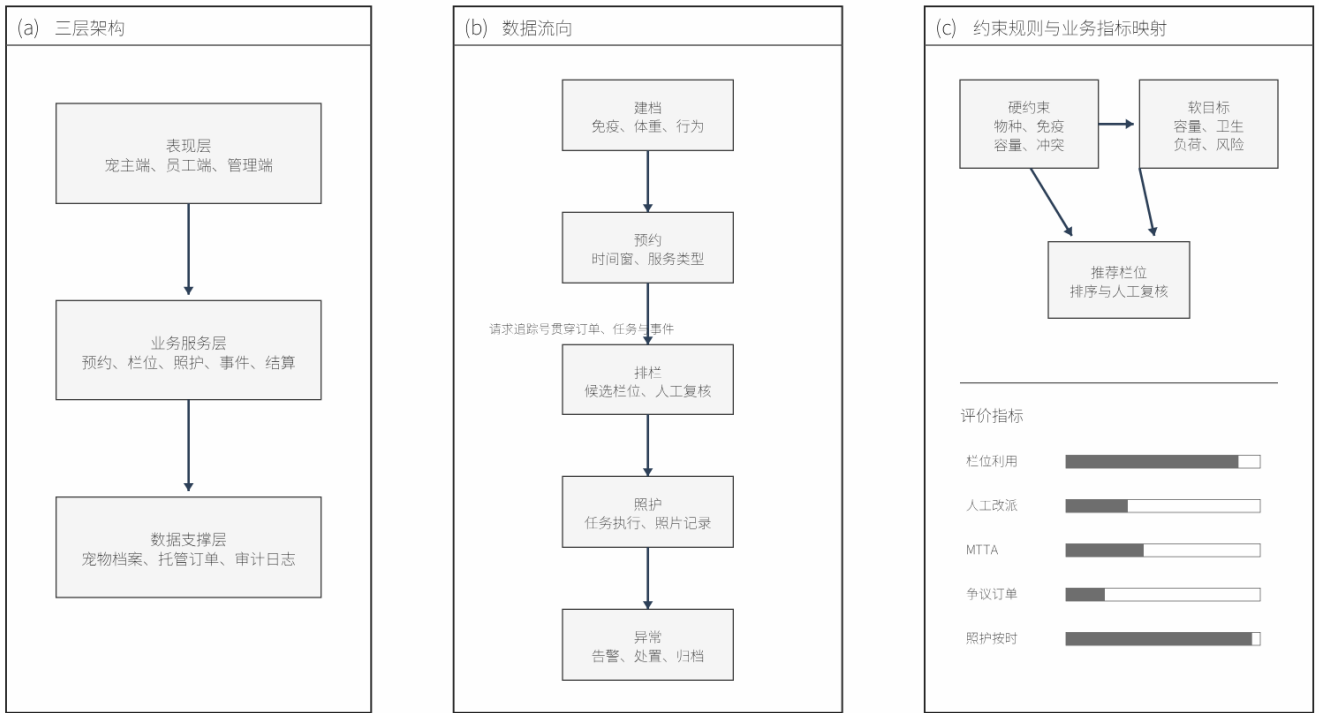


图1 平台模型、调度决策与评估边界

兽医电子病历和动物健康信息系统重视档案、病程记录和追溯管理^[10-11], 物联网照护研究关注传感、远程监测和隐私安全^[12]。现有研究对医疗记录和设备接入讨论较多, 对宠物托管中“预约-入栏-照护-异常-离店”的连续过程关注不足。本文据此让栏位、任务和风险事件互相指向, 而非只保存订单结果。

3 方法

3.1 需求分析与架构设计

平台面向宠主、护理员、店长和系统管理员。宠主关注预约可靠和托管过程; 护理员需要清楚的当班任务单; 店长关注栏位利用、员工负荷和异常事件; 管理员维护账号、权限和配置。依据个人信息保护和App最小必要采集原则^[13-14], 手机号、联系人、宠物档案和支付状态作为基础功能信息, 摄像头探视和营销推荐作为独立授权功能。

表1 核心对象与约束作用

对象	主要字段	调度或照护作用
宠物档案	物种、体重、免疫期、过敏项、行为标签	决定硬约束和特殊照护任务
托管订单	到店时间、服务类型、支付状态、订单状态	确定时间窗和服务边界
栏位资源	分区、容量、适配体型、清洁状态、可用时段	形成资源容量和可用性约束
照护任务	任务类型、计划时间、执行人、提交结果	记录日常操作并生成履约证据
风险事件	等级、来源、责任人、处置说明、关闭时间	承载异常通知、复核和追责

系统采用前后端分离B/S架构。前端包括宠主端、员工端和

管理端; 后端按网关与接口层、领域服务层、数据与审计层组织。核心对象包括宠物档案、托管订单、栏位资源、照护任务、风险事件和审计日志。设计重点不是堆叠页面功能, 而是让一笔订单可回溯到宠物、栏位、任务、事件和责任人。

3.2 栏位调度模型

设托管订单集合为 O , 栏位集合为 K , 订单 i 在时间区间 $[t_i^s, t_i^e]$ 内占用某一可行栏位。决策变量 $x_{ik} \in \{0, 1\}$ 表示订单 i 是否分配到栏位 k 。每个订单至多选择一个栏位, 同一时段内栏位容量不能被突破, 犬猫分区、免疫缺失、体型超限、清洁不可用和冲突宠物相邻关系作为硬约束。即使去掉偏好得分, 仅保留容量和时间冲突, 该问题也包含装箱、区间分配和车间调度结构, 难以保证多项式时间全局最优^[5-8]。

门店日常操作中, 系统采用可解释的两阶段策略: 先得到可行集合 K' , 剔除不满足硬约束的栏位; 再对 $k \in K'$ 计算得分:

$$S(k)=w_C_C_k+w_H_H_k+w_A_A_k+w_L_L_k-w_R_R_k, k \in K' \quad (1)$$

式(1)中, C_k 为容量适配度, H_k 为卫生与可用时段匹配度, A_k 为相邻偏好得分, L_k 为员工负荷均衡得分, R_k 为历史风险惩罚项。各变量归一化到 $[0, 1]$ 。本实验采用层次分析法结合门店管理经验设置初始权重, 取 $w_C=0.30$ 、 $w_H=0.25$ 、 $w_A=0.20$ 、 $w_L=0.15$ 、 $w_R=0.10$, 后续可按淡旺季和员工配置微调。

该策略本质上是局部贪心排序, 便于解释和前台复核, 但不承诺全局最优。满房、长短住订单交织或大型犬先占稀缺栏位时, 局部高分可能压缩后续中型犬拼笼空间。因此, 系统仅给出推荐, 不自动写死订单; 后续可加入整数线性规划、遗

传算法或模拟退火对照, 比较栏位利用率、人工调整率和求解时间。

算法1 基于硬约束过滤与软约束排序的栏位匹配

步骤	伪代码
输入	订单 o_i , 栏位集合 K , 权重 w_C, w_H, w_A, w_L, w_R
输出	推荐栏位列表 K_{sorted}
1	$K' \leftarrow \emptyset$
2	for each $k \in K$ do
3	if 物种、免疫、容量、清洁、冲突均满足硬约束 then
4	计算 C_k, H_k, A_k, L_k, R_k
5	$S(k) = w_C C_k + w_H H_k + w_A A_k + w_L L_k + w_R R_k$
6	$K' \leftarrow K' \cup \{k, S(k)\}$
7	end for
8	按 $S(k)$ 降序排列 K' , 返回 K_{sorted}

算法1中, 硬约束检查和软约束得分计算均扫描一次栏位集合, 时间复杂度为 $O(|K|)$; 若返回完整有序列表, 排序复杂度为 $O(|K'| \log |K'|)$ 。门店前台通常只展示前 N 个候选栏位, 可用小顶堆或截断排序降低开销。

3.3 照护闭环与工程支撑

托管开始后, 系统按订单生成喂食、饮水、清洁、遛放、用药和拍照任务, 护理员提交结构化结果。出现拒食、腹泻、呕吐、精神沉郁或攻击行为时, 系统生成风险事件, 并按等级通知护理员、店长和宠主。事件关闭时必须填写处置说明, 原始记录只追加不覆盖, 使异常从发现到关闭均有时间点。

RBAC、对象级授权、审计日志、接口幂等和数据脱敏作为工程支撑。宠主只查看本人宠物和订单, 护理员只查看当班必要信息, 报表导出时隐藏手机号和地址, 支付回调用幂等键避免重复入账。这些做法属于常规安全边界, 不作为本文主要创新。

4 仿真实验与结果

原型系统完成宠主端、员工端和管理端功能。实验构造30 d业务样本, 包括1000只宠物档案、500名宠主、80个栏位、1840笔预约请求和3000条照护任务。订单到达时间、入住时长、体型和高风险标签按门店常见节奏生成, 周末和节假日权重更高。运行环境为4核CPU、16 GB内存开发机; 接口测试采用100并发用户固定负载, 记录P95响应时间和错误率。

业务指标通过代理仿真规则生成。MTTA按“通知到达时间—首次确认时间”计算: 人工排栏按电话或聊天提醒模拟, 响应时间从 $[5, 40]$ min抽样; 通用预约有系统消息但缺少风险分级, 从 $[3, 30]$ min抽样; 本文方法按事件等级推送, 高风险事件使用 $[2, 12]$ min响应窗, 普通事件使用 $[5, 20]$ min响应窗。争议订单率由风险触发概率得到, 免疫过期、相邻冲突、体型不适配和照护超时会提高争议概率; 本文方法因前置拦截高风险组合, 争议概率降低。人工改派率为更换栏位次数与已确认订单数之比。

对照策略设3组: B1为人工排栏, 按经验和人工表格完成; B2为通用先先得预约, 只校验时间窗和剩余容量; M为本文规则。3组使用同一订单样本, 统计栏位利用率、人工改派率、MTTA、争议订单率和照护任务按时完成率。

表2 不同排栏策略的仿真实验结果

指标	人工排栏 B1	通用预约 B2	本文方法 M
栏位利用率/%	78.4	81.7	88.9
人工改派率/%	18.6	14.2	6.8
MTTA/min	21.5	17.9	8.6
争议订单率/%	3.9	3.1	1.4
照护按时完成率/%	89.2	91.5	96.3
预约创建 P95/ms	—	263	214
栏位查询 P95/ms	—	221	176
照护提交 P95/ms	—	168	142

由表2可见, 本文规则在满房压力较高的样本中减少了后续改派, 栏位利用率由人工排栏的78.4%和通用预约的81.7%提高到88.9%, 人工改派率降至6.8%。风险事件进入工单后, MTTA由人工确认的21.5 min缩短至8.6 min; 照护按时完成率提高到96.3%。100并发用户下, 预约创建、栏位查询和照护提交P95响应时间分别为214、176和142 ms, 错误率低于0.2%。

规则正确性测试显示, 系统可拦截同宠物时间重叠、免疫过期、体型不适配、栏位清洁不可用和越权访问等样本, 并给出原因。与只检查剩余容量的通用预约相比, 本文规则保留了犬猫分区、相邻冲突和护理员负荷等现场约束。前台仍可人工确认推荐结果, 用于处理体重临界、临时清洁和熟客偏好等情况。

5 讨论

本文与通用预约系统的差别, 不在页面是否更完整, 而在于把活体照护风险放进排栏和任务执行过程。一个栏位看似空着, 若清洁未完成、相邻宠物有冲突、护理员任务接近上限, 就不应被视为可售库存。此类约束使模型更接近受限资源分配, 也说明线性加权排序只能作为可复核的现场辅助。

本文未将ILP等精确算法作为对照基线, 主要因为宠物托管订单动态性强, 提前接回、临时续住、突发疾病换笼和清洁延迟都会改变约束集合。ILP在扰动后需重新建模并全局求解, 结果也不易被前台快速解释。本文选择人工排栏和通用预约作为基线, 是为检验所提规则相对门店常见方式的改进幅度。后续可在匿名化门店数据上增加ILP、遗传算法和模拟退火对照, 观察求解质量、响应时间和人工可干预性的关系。

6 结论

本文设计并实现了一站式宠物托管服务管理平台。平台以宠物档案、托管订单、栏位资源、照护任务和风险事件为核心对象, 将栏位调度表述为带硬约束和软目标的资源分配问题, 并以事件流记录托管过程。仿真实验表明, 该方法在栏位利用、人

工改派、异常确认和照护按时完成方面优于对照策略,可为宠物托管门店过程管理提供可复核的实现路径。

[参考文献]

[1]The Association of Shelter Veterinarians.The Guide lines for Standards of Care in Animal Shelters:Second Edition[J].Journal of Shelter Medicine and Community Animal Health,2022,1(S1):1-76.

[2]Squires R A,Crawford C,Marcondes M,et al.2024 Guid elines for the Vaccination of Dogs and Cats[J].Journal of Small Animal Practice,2024,65(5):277-316.

[3]Ellis J,Marziani E,Aziz C,et al.2022 AAHA Canine Vac cination Guidelines[J].Journal of the American Animal Hos pital Association,2022,58(5):213-230.

[4]Ahmadi-Javid A,Jalali Z,Klassen K J.Outpatient appo intment systems in healthcare: A review of optimization s tudies[J].European Journal of Operational Research,2017,258 (1):3-34.

[5]Garey M R,Johnson D S,Sethi R.The complexity of fl owshop and jobshop scheduling[J].Mathematics of Operation s Research,1976,1(2):117-129.

[6]Pinedo M L.Scheduling:Theory,Algorithms, and Syste ms[M].5th ed.Cham:Springer,2016.

[7]Zhang F,Mei Y,Nguyen S,et al.Survey on genetic pro gramming and machine learning techniques for heuristic d esign in job shop scheduling[J].IEEE Transactions on Evol utionary Computation,2024,28(1):147-167.

[8]Xu M,Mei Y,Zhang F,et al.Learn to optimise for job shop scheduling: a survey with comparison between geneti c programming and reinforcement learning[J].Artificial In telligence Review,2025,58:160.

[9]Burke E K,De Causmaecker P,Vanden Berghe G,et al. The state of the art of nurse rostering[J].Journal of Sch

eduling,2004,7(6):441-499.

[10]Lustgarten J L,Zehnder A,Shipman W,et al.Veterinar y informatics: forging the future between veterinary med icine,human medicine,and One Health initiatives[J].JAMIA O pen,2020,3(2):306-317.

[11]Plavsic B, Nedic D,Micovic Z,et al.Veterinary infor mation management system(VIMS)in the process of notifica tion and management of animal diseases[J].Acta Veterinari a,2009,59(1):99-108.

[12]Islam S M R,Kwak D,Kabir M H,et al.The Internet o f Things for health care: A comprehensive survey[J].IEEE Access,2015,3:678-708.

[13]中华人民共和国中央网络安全和信息化委员会办公室. 中华人民共和国个人信息保护法[EB/OL].[https://www.cac.gov.cn /2021-08/20/c_1631050028355286.htm](https://www.cac.gov.cn/2021-08/20/c_1631050028355286.htm),2021-08-20/2026-06-16.

[14]国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.GB/T4 1391-2022信息安全技术移动互联网应用程序(App)收集个人 信息基本要求[S].北京:中国标准出版社,2022.

作者简介:

仪海灿(2006--),男,汉族,山东菏泽人,本科生,研究方向为 电子信息工程技术、服务信息系统。

马玉英(1985--),女,汉族,山东日照人,硕士,教授,研究方向 为电子信息工程。

周子墨(2006--),女,汉族,山东济宁人,本科生,研究方向为 物联网工程技术、服务信息系统。

张腾宇(2006--),男,汉族,山东济宁人,本科生,研究方向为 物联网工程技术、服务信息系统。

*通讯作者:

陈寒睿(2006--),男,汉族,浙江衢州人,本科生,通讯作者,研 究方向为深度学习、通信工程。