

1-4-2019

Analysis and Optimization of Hospital Pharmacy Sorting System Based on Simulation

Liu Shuang

College of engineering science and technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

Lü Chao

College of engineering science and technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Analysis and Optimization of Hospital Pharmacy Sorting System Based on Simulation

Abstract

Abstract: The assignment rules are presented by researching system data information with a large Chinese medicine pharmacy sorting system as an object. *Based on simulation technology, the system model is presented; the system operation time, cost, efficiency, and assigned laws and human resources configuration as well as many other factors affecting the performance of the system are analyzed.* Based on the analysis of the original system, three optimization schemes are designed and compared. The simulation results show that, *during the same simulation period, the reallocation of human resources can reduce the economic cost, but it has little improvement on the system processing time and local balance; on the basis of the quantity of human resources, adding the conveying equipment has a good effect on the system operation time and local balance; under the constraint of space dimension and actual condition, the reconfiguration assignment rule, system layout and local function have little effect on the operation time efficiency of the system.*

Keywords

system simulation, sorting system, hospital operation, process optimization

Recommended Citation

Liu Shuang, Lü Chao. Analysis and Optimization of Hospital Pharmacy Sorting System Based on Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(11): 4454-4461.

基于仿真的医院药房分拣系统分析与优化

刘爽, 吕超

(上海海洋大学工程学院, 上海 201306)

摘要: 以某大型中药药剂分拣系统为对象, 通过调研获得数据信息得出系统指派规则, 基于仿真技术, 构建了系统运作模型, 分析了系统运作时间、成本、效率、指派法则及人力资源配置等诸多因素对系统性能的影响。基于对原系统的分析, 设计了3种优化方案并进行了对比分析。仿真结果表明: 在相同仿真时期内, 重配人力资源数量可以降低经济成本, 但对系统处理时间与局部平衡性改进不大; 在重配人力资源数量的基础上, 增添输送设备对系统运作时间和局部平衡有较好效果; 在满足空间尺寸约束与实际条件下, 重构指派法则、系统布局与改变局部功能对系统运作时间效率影响不大。

关键词: 系统仿真; 分拣系统; 医院运作; 流程优化

中图分类号: T391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2018)11-4454-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201811048

Analysis and Optimization of Hospital Pharmacy Sorting System Based on Simulation

Liu Shuang, Lü Chao

(College of engineering science and technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The assignment rules are presented by researching system data information with a large Chinese medicine pharmacy sorting system as an object. Based on simulation technology, the system model is presented; the system operation time, cost, efficiency, and assigned laws and human resources configuration as well as many other factors affecting the performance of the system are analyzed. Based on the analysis of the original system, three optimization schemes are designed and compared. The simulation results show that, during the same simulation period, the reallocation of human resources can reduce the economic cost, but it has little improvement on the system processing time and local balance; on the basis of the quantity of human resources, adding the conveying equipment has a good effect on the system operation time and local balance; under the constraint of space dimension and actual condition, the reconfiguration assignment rule, system layout and local function have little effect on the operation time efficiency of the system.

Keywords: system simulation; sorting system; hospital operation; process optimization

引言

大型医院每天面向大量的客户需求, 为提升医

院门诊药房的运作效率, 快速响应客户需求是医院运营重要的任务, 尤其在大型中医门诊药房拣选作业中, 等候领药的时间是病患满意度的重要指标, 也是医院药剂部门不断努力改善的项目, 因此药房分拣系统的分析与优化对医院运作有重要意义。

医院药房分拣系统是物流分拣系统的分支之一, 针对分拣系统的建模与仿真研究, 取得一定的



收稿日期: 2018-05-20 修回日期: 2018-07-27;
基金项目: 上海交通大学海洋工程国家重点实验室基金项目(1512, 1303);
作者简介: 刘爽(1977-), 女, 辽宁, 博士, 讲师, 研究方向为系统仿真与力学分析、海洋工程水动力仿真; 吕超(通讯作者 1977-), 男, 黑龙江, 博士, 副教授, 研究方向为海洋系统工程、多领域系统建模仿真与辅助设计。

<http://www.china-simulation.com>

• 4454 •

成果。有学者研究集中式和分散式分拣系统的作业流程, 构建两种系统的作业时间模型, 利用 Matlab 软件对两种系统的作业时间进行仿真, 结果表明, 系统作业效率受品规影响小于集中式系统^[1]。有学者以 A 字机为代表的自动化分拣系统为对象, 以总节省人工成本最大为目标函数建立设备通道配比优化数学模型, 设计贪婪算法得出自动化分拣区内设备通道合理配比方案, 通过某医药配送中心实例仿真证明了算法的有效性^[2]。有学者基于蒙特卡罗仿真方法, 以低层人至货拣货区域为例, 将多种路径与储位分配策略组合在多种订单规模和不同热销度比例下进行对比仿真分析, 结果表明改进的最大间隙路径一直都优于原来的最大间隙路径策略^[3]。有学者针对传送带式人工分拣提出了两种策略, 基于 Flexsim 进行了仿真建模, 并采用生产线均衡的方法, 研究了优化方案^[4]。

在医院系统仿真分析方面, 有些学者以患者具有不同的目标等待时间为因素, 针对医疗关键资源能力分派问题展开研究, 给出数值分析仿真优化算法、考虑目标等待时间的马尔科夫决策方法、基于门诊与急性患者的动态规划方法等^[5-7]。有些学者针对医院资源调度展开研究, 提出了基于患者选择和公平性的序列预约提出调度方法、构建连续、离散时间模型等方法^[8-10]。有学者基于仿真方法, 构建门诊挂号服务模型, 并进行性能分析, 得到一个优化挂号流程, 节省了患者等待时间^[11]。针对医院运营方面大部分研究集中于某一因素的调研问题, 采用的方法是在约束条件下建立数学模型, 所得结果相对固定缺少动态演变, 而实际系统运作过程是动态的, 随着计算技术的发展, 数值仿真为系统运作与优化提供了有力的技术支撑^[12]。

总结文献分析在药房分拣系统的研究尚不多见, 尤其是尚不见针对医院运营中的药品指派、分拣以及配送过程的研究, 在大型医院需要快速响应患者需求, 药品分拣系统涉及分拣物流系统的原理, 利用仿真技术, 建立数字化系统, 采用虚拟算法与参数多变化配置, 分析系统及运作方案的合理

性, 找出系统所存在的问题, 还可以对模型参数进行多次修改得出优化的方案, 是一种有效的方法。本文将某大型医院药品分拣系统为对象, 基于仿真技术, 构建系统仿真模型, 分析了分拣作业的流程, 提出系统构成、布局及运作的改进方案, 为医院药品分拣系统运作优化提供帮助与参考。

1 系统组成与问题描述

1.1 系统组成

某大型门诊药房分拣系统是针对中药药剂实现定单分拣、调剂、集成、复检以及配送等一系列任务的运作系统, 面向大量的订单需求, 目前采用的结构布局如图 1 所示。系统形状类似倒置 U 型, 药材流动主要由两条输送带完成(图中黑色箭头标注), 系统内部共有 8 个分拣调剂区块(区块标记 1 至 8), 每个分拣调剂区块依人力需求配置 1~2 位分拣调剂药师, 在输送带末端两侧是复查检药与发药配送区, 负责该条调剂作业线的处方药品检查, 完成后由输送带送出, 直接对应发药窗口。

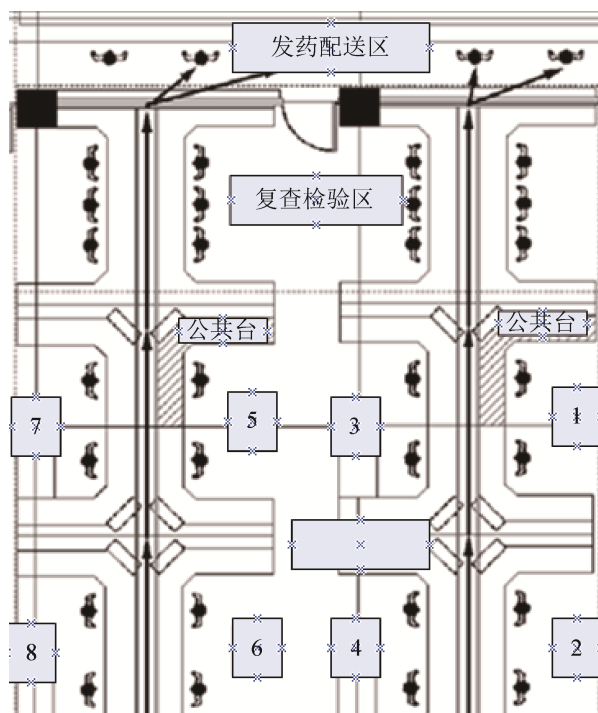


图 1 分拣系统结构简图

Fig. 1 Sorting system structure diagram

1.2 系统运作流程

患者经过医师诊断开药之后,由医师将药方输入到医院信息系统中,患者领取打印药单后完成缴费,再到门诊药房系统窗口等候取药。医院信息系统会依照运作规则,将药方传送至门诊药房分拣系统,再分拣药剂师按照订单需求将药袋分盘,通过输送带送至各调剂台,经药师调剂、复检后,再送至4个发药窗口,为方便系统标识,4个发药窗口标记为1、2、7、9窗口。系统运作流程见图2。

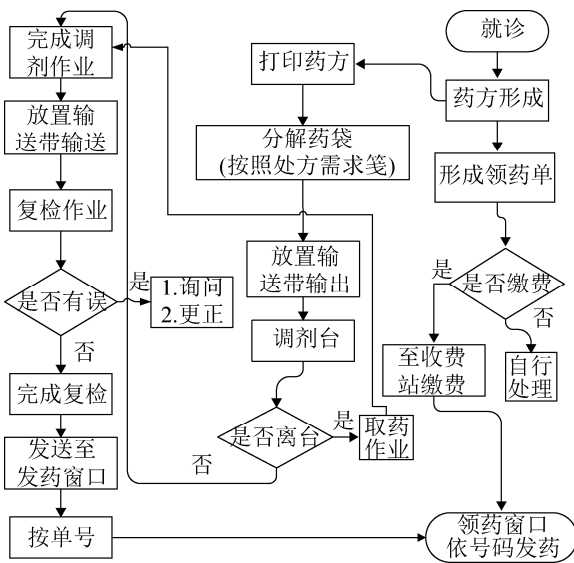


图2 系统运作流程图
Fig. 2 System operation flow chart

1.3 数据调查与分析

依据实际调查结果,以各药方窗口作业高峰时段为对象,获得某月门诊部药房各窗口的信息数据,见图3,横坐标表示处方笔数,纵坐标表示处方笔数分配比率。分析所得各个窗口处方机率,可为仿真模型中处方分配随机机率的设定提供参考。

根据实际调研应用情况与信息数据的处方机率,建立指派方式法则如图4所示,其中1号窗口指派3~4笔处方,2号窗口5笔以上处方,7号窗口慢性病类1~11笔处方,9号窗口1~2笔处方和含有特殊药处方,9号窗口负责特殊管制药品,不与其他药品同时分拣,不经由传送带分拣,由人员送至复检区。

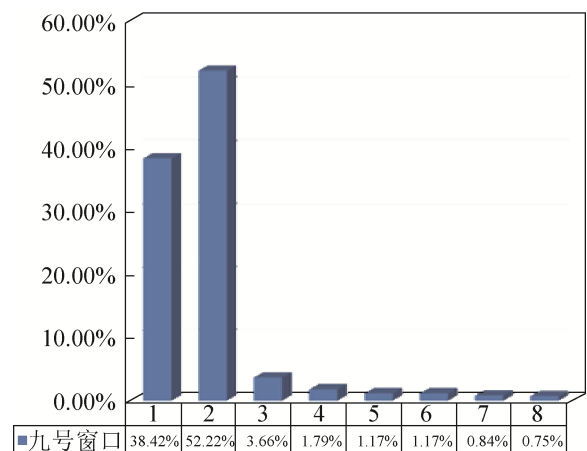
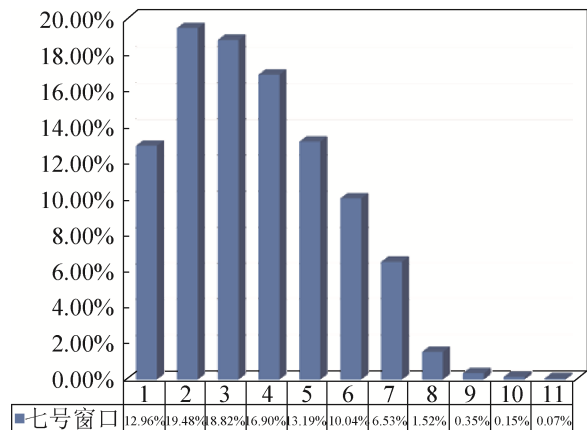
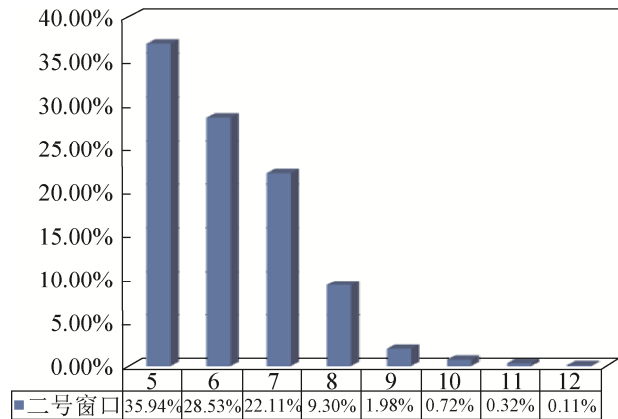
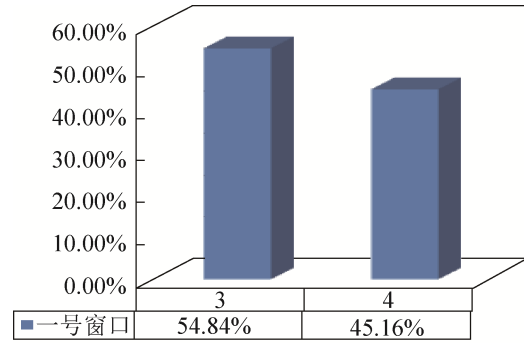


图3 各窗口处方机率分布图
Fig. 3 Probability distribution of each window prescription

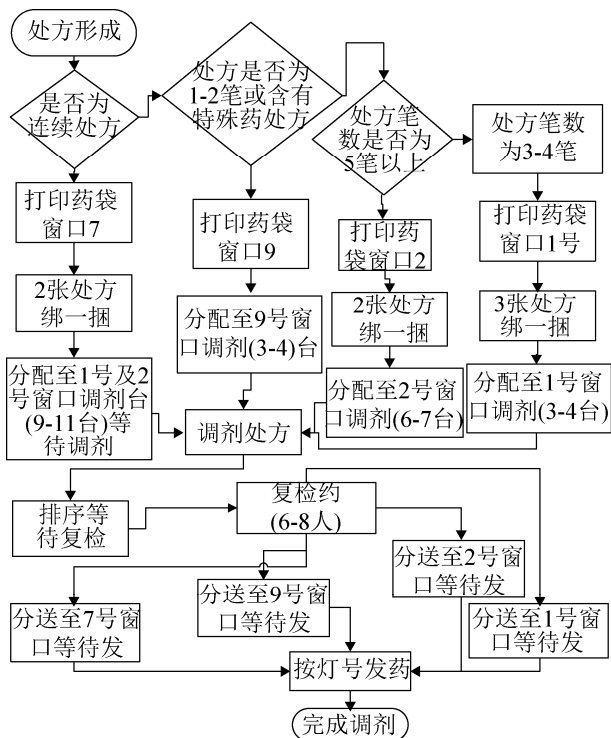


图 4 系统指派流程图

Fig. 4 System assignment flow chart

根据实际情况, 基于仿真方法构建系统模型, 分析现行系统及其运作:

- (1) 运用流程分析进行门诊药房的设备规划, 减少不必要的物流活动;
- (2) 对各领药窗口的调剂作业指派规则进行分析, 根据现有的人力、设备及作业方式搜集数据, 优化指派规则;
- (3) 利用优化指派法则, 获得合理优化的处理运作时间;
- (4) 优化分拣系统作业流程, 提高系统运作效率。

2 系统模型仿真分析与优化

2.1 系统仿真模型构建

通过构建系统仿真模型, 考察系统的药品配送等候时间、系统成本以及工作效率等指标, 进而形

成合理的、优化的系统指派规则与运作效率。为分析方便, 对系统模型与性能分析过程中, 形成如下假设条件:

- (1) 分拣调剂作业所花费的时间不会有显著差异;
- (2) 不考虑每位药师调剂专业能力及熟练度;
- (3) 人员步行速度基于人因工程原理按照常规人员设置, 传送带的运行速度按照现有连续输送设备参数 1.0 m/s 给定;
- (4) 输送设备成本按 2.4 万元/m 计算, 人员工资 0.5 万/月, 以 1 年为周期评估成本;
- (5) 依据实际调研结果, 药房分拣系统作业高峰时间段为 09:00:00~13:00:00。

基于 Plant-simulation 软件环境, 按照系统设备组成、作业流程、指派规则以及时间分布进行系统设置, 并对 8 个调剂区域配合 4 个窗口任务进行了集成整合, 构建系统整体仿真模型如图 5 所示。为便于后续优化方案分析研究, 将仿真模型分成三个区域块, 并做部分标注。第一区块: 处方来到、处方打印与捆绑, 主要包含处方打印、药袋分解(撕药袋)等任务; 第二区块: 输送带、等待分拣调剂与调剂, 主要包括 7 号药盘分拣输送、等待分拣调剂与调剂等任务; 第三区块: 等待复检、复检与等待发药, 主要包括等待复检、复检与发药等任务。

2.2 现行系统方案结果分析

运行系统模型, 经过第一次仿真在各个窗口随机抽样 15 个数据, 将 15 个样本数据通过与实际采样数据的各窗口在高峰时段收到的总张数相对比, 可以得出 1 号窗口: 实际数据 499.2, 模拟数据 503; 2 号窗口实际数据 468.4, 模拟数据 464; 7 号窗口实际数据 275.6, 模拟数据 290; 9 号窗口实际数据 668, 模拟数据 678, 可见仿真系统与实际情况相符合。

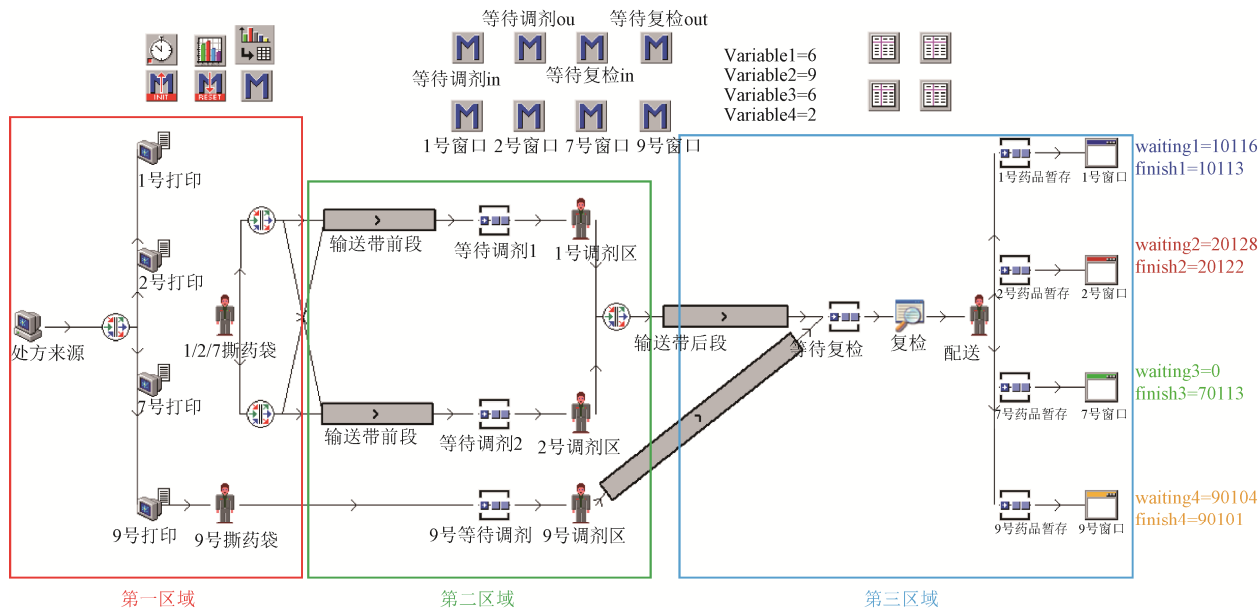


图5 系统仿真模型

Fig. 5 System simulation model

对现行系统利用瓶颈工具分析得出：

- (1) 第一区块处方来到窗口包括 1、2、7、9 号打印窗口，各个打印窗口运行通畅；
- (2) 1、2、7 以及 9 号撕药袋窗口运行通畅，不存在未发挥功能组成部件；
- (3) 第二区块 1 号及 2 号调剂区并未发现存在明显的堵塞现象，但是 4 个调剂台的利用率都比较低，造成人力成本、系统整体运作时间的浪费；
- (4) 9 号窗口为特殊药品，需求量大并采用人工输送，仿真显示堵塞现象较为明显；
- (5) 复检区作业不平衡，部分工作量明显较大，而部分闲置，存在复检人员的分配不合理现象；
- (6) 第三区块运作状态良好，未发生堵塞及长时空闲问题。

针对获得的仿真性能可得现行系统两个调剂区域中的人力资源配置浪费，9 号窗口堵塞严重，复检窗口运作不平衡、人力资源浪费。因此，可以考虑通过减少部分冗余的工序、简化合并部分工序、重构部门布局位置、减少人员物流距离以及简化调剂药师离开工作台的多重路线等几个方面开展系统优化研究。

2.3 优化方案及其分析

依据实际调研，本文系统分拣规则的形成依据人力资源配置及其活动、增减设施设备、改变局部功能与布局配置的不同而不同，因此优化方案主要从这三个层面入手。

优化方案 I 主要针对调剂区的人力资源配置比例进行重构，仿真结果显示当 1 号调剂区调剂药师人数从 4 人变为 1 人，2 号调剂区的调剂药师人数从 6 人变为 2 人，复检区域的复检药师人数从 8 人变为 5 人，而其余设定不变，1 号、2 号调剂区没有出现明显堵塞现象，工作效率得到提升，同时复检区域的工作状况经调整后工作效率较为平均，不平衡现象消失。在 1 号、2 号和 7 号这三个窗口的处理时间指标显示都较原始方案有了改善，而 9 号窗口的处理时间并未得到改善。方案 I 只是针对人力资源进行了重构，按照一年期计算，优化成本按照人员工资 0.5 万/月，优化后人力资源减少 10 人，除时间成本外可得该方案节约经济成本 60 万元。

优化方案 II 在优化方案 I 的基础上，进一步分析 9 号窗口堵塞问题，主要变更包括增加输送带设备代替人力输送、继续重配 9 号人力资源，其余设定

与优化方案 I 相同。仿真结果显示 9 号窗口工作状态堵塞消失, 在 1 号、2 号和 7 号窗口的处理时间并未和原始方案有明显区别, 由于添加长为 10m、速度为 1.0 m/s 的输送设备代替人工, 9 号窗口的处理时间大大缩减接近原来的 1/3, 9 号窗口人员配置在原来基础上减少一名。按照仿真模型假设条件输送设备成本按 2.4 万元/m 计算, 时间为一年, 可得该方案节约经济成本为 42 万元。

基于上述两种优化方案分析结果, 优化方案 III 在满足药方空间尺寸约束与实际条件下, 主要从重构系统总体布局与部分部门的功能入手, 主要变更包括:

(1) 依据实际空间布局约束配置输送设备(上)长 7.0 m, 传送带(下)长 8.5 m;

(2) 调整分拣调剂区, 不再划分为 1、7 和 2、7, 而是 1、2 和 7 同时到达调剂区, 根据窗口号划分到不同的调剂师工作区;

(3) 进而在撕药袋处理的过程中, 也不再需要将 1、7 和 2、7 划分区域不需要复杂的分流, 可以直接输送到等待调剂区;

(4) 同时根据等待复检区的位置, 分别从两个调剂区通过传送带输送药品至等待复检区;

(5) 9 号调剂由原来配置的 3 人降为 1 人, 并延续方案 II 的输送设备配送。

仿真结果显示解决了瓶颈问题, 人员、设备利用率也有较大的提高, 1、2、7 窗口的运行处理时间高于原始方案时间这源于部分区域合并而导致, 9 号窗口约为原方案的 1/3, 按照上述成本计算方案, 节约经济成本 34.8 万元。

2.4 总体方案结果对比分析

各方案系统时间分布如图 6 所示。进一步分析系统性能可得:

(1) 优化方案 I 在 1 号、2 号与 7 号窗口上, 平均总时间得到优化, 人力资源重新配置, 但 9 号瓶颈问题存在, 总平均时间并没有优势;

(2) 优化方案 II 在 1 号、2 号与 7 号窗口上,

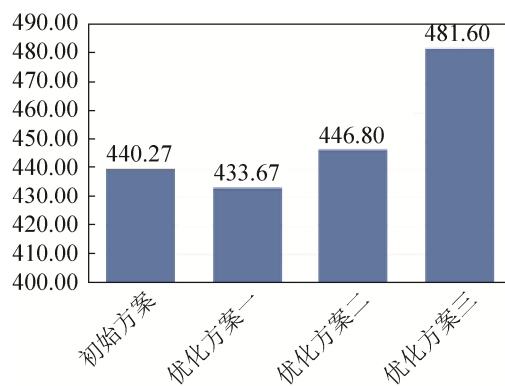
平均总时间与初始方案相差不大, 同时解决了 9 号的瓶颈问题, 是总平均时间最优的方案;

(3) 优化方案 III 在 1 号、2 号与 7 号窗口上, 平均总时间与初始方案相比略微增加, 因为解决了 9 号的瓶颈问题, 所以总平均时间也得到了改善, 同时人力资源得到进一步优化配置;

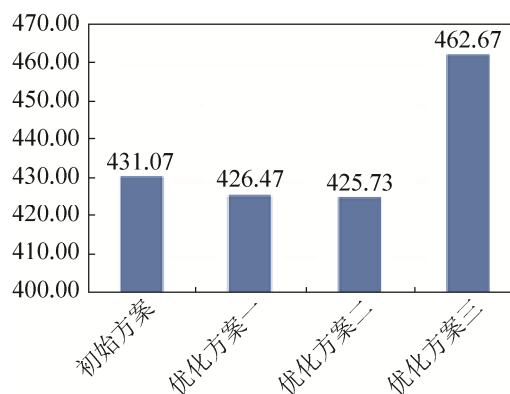
(4) 3 种优化方案的成本与原系统对比都有了显著的降低, 按照一年期经济成本计算, 优化方案 I>优化方案 II>优化方案 III;

(5) 通过仿真分析, 得出实际现场运行的指派法则与仿真获得优化的指派法则相适应, 进而也验证了现存指派法则适应本系统的运作;

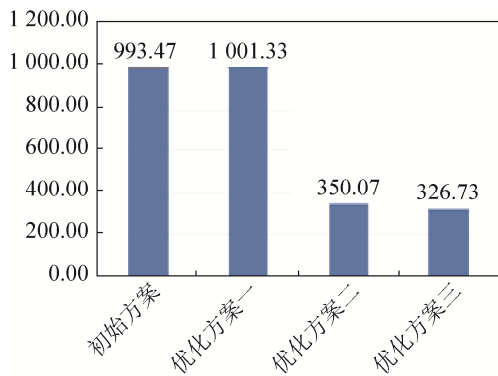
(6) 优化方案 I, 并未解决瓶颈问题, 但是因为并未投资任何设备, 所以风险最小; 优化方案 II, 解决了瓶颈问题, 平均时间也是最优, 以 1 年为期来看, 也并未对成本造成负担; 优化方案 III, 重构系统布局与局部功能, 但并未在成本与总工作时间内有较大的提升。



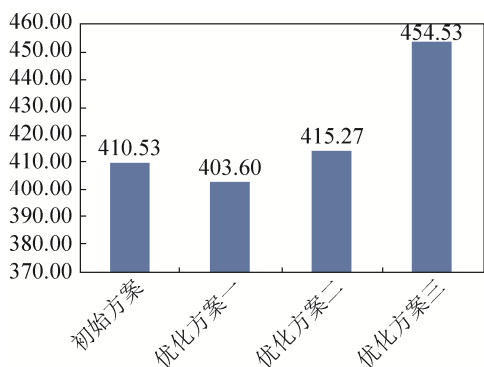
(a) 1 号窗口平均时间



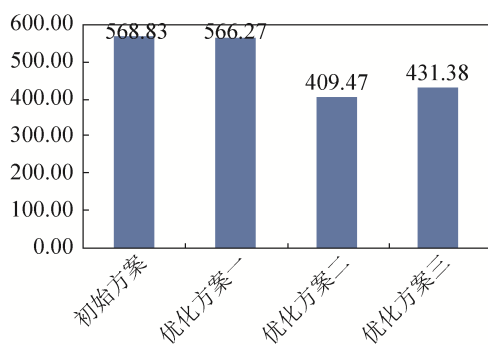
(b) 2 号窗口平均时间



(c) 7号窗口平均时间



(d) 9号窗口平均时间



(e) 总平均时间

图6 各窗口平均时间分布图

Fig. 6 Average time distribution of each window

3 结论

以某大型医院药剂分拣系统为对象,开展了系统运作调研,获得了运行数据,根据实际应用情况形成了系统指派规则流程,为改进优化系统运作时间、效率、成本以及分拣规则,利用仿真技术对系统进行了性能分析,在此基础上提出了3种优化方案。首先构建系统仿真模型,为便于分析将模型划分为3个区域,通过对现存模型的仿真分析,得出

了各区块各窗口的运作状态、功能区块作用,得出系统包括运作时间、平衡性、人员配置、设施改进等有待改进优化的问题,为系统优化提供了技术参考。基于初步分析结果,第一种优化方案提出了以人力资源配置为主因的改进策略,第二种方案进一步完成设施匹配、调整局部功能,第三种方案重构系统布局及其功能,并对3种方案的系统运作时间、成本、平衡性等各项性能进行考察、分析对比,给出三种方案的对比结果,分别得出了人力资源配置、设施改进、布局重构、功能重组对系统性能的影响,为系统优化提供参考。本文采用仿真的方法,通过定制化编程与参数设置,能够完成系统参数的动态及时变更,实现性能考察的灵活多变,与文献[11]相对比实现了面向对象的事件触发来模拟系统动态特性,能够实现多参数动态配置的性能仿真分析,与文献[5,8]采用指定因素构建数学模型得出优化参数的方法相比,本文仿真方法能够实现多个参数同时模拟,并能够实现动态设置、协同运作,能更好的表征系统运作性能。通过本文研究分析所得结果,验证了现存系统指派规则,实现了时间成本与经济成本的节约,提升了系统运作效率与平衡性,对该药房分拣系统运作的改进优化提供了较大帮助与参考。

参考文献:

[1] 邹霞, 吴耀华, 赵梦洁. 集中式和分散式自动分拣系统建模及仿真分析[J]. 深圳大学学报理工版, 2015, 32(5): 515-523.
Zou Xia, Wu Yaohua, Zhao Mengjie. Modeling and simulation analysis of centralized and decentralized automatic sorting systems[J]. Journal of Shenzhen University science and engineering, 2015, 32(5): 515-523.

[2] 李明, 吴耀华, 吴颖颖, 等. 人工与自动化双分拣区系统品项分配优化[J]. 机械工程学报, 2015, 51(10): 197-204.
Li Ming, Wu Yaohua, Wu Yingying, et al. Items assignment optimization for double picking zones with manual picking system and automated picking system [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(10): 197-204.

[3] 刘进平. 配送中心拣货路径与储位分配策略仿真分析

- [J]. 计算机仿真, 2015, 32(4): 310-314.
- Liu Jinping. Simulation Analysis of Routing and Storage Assignment Strategies in the Distribution Center [J]. Computer Simulation, 2015, 32(4): 310-314.
- [4] 张阳, 马如意, 刘聪雨. 基于 Flexsim 仿真的传送带式人工分拣策略研究[J]. 物流技术, 2018, 37(4): 50-53.
- Zhang Yang, Ma Ruyi, Liu Chongyu. Research on conveyor-type artificial sorting strategy Based on Flexsim simulation[J]. Logistics Technology, 2018, 37(4): 50-53.
- [5] 陈乐天, 耿娜, 祝延红. 基于仿真优化算法的医院关键资源能力分派研究[J]. 运筹与管理, 2018, 27(2): 38-47.
- Chen Letian, Geng Na, Zhu Yanhong. Simulation-based optimization for capacity allocation of critical resources in the hospital [J]. Operations research and management science, 2018, 27(2): 38-47.
- [6] Patrick J, Puterman M L, Queyranne M. Dynamic multipriority patient scheduling for a diagnostic resource [J]. Operations research (S1109-2858), 2008, 56(6): 1507-1525.
- [7] Ayvaz N, Huh W T. Allocation of hospital capacity to multiple types of patients[J]. Journal of Revenue&Pricing Management (S1476-6930), 2010, 9(5): 386-398.
- [8] 阎崇钧, 唐加福, 姜博文, 等. 考虑患者选择和公平性的序列预约调度方法[J]. 系统工程学报, 2014, 29(1): 104-112.
- Yan Chongjun, Tang Jiafu, Jiang Bowen, et al. Sequential appointment scheduling algorithm considering patient choice and fairness [J]. Journal of systems engineering, 2014, 29(1): 104-112.
- [9] Schutz H J, Kolisch R. Capacity allocation for demand of different customer product combinations with cancellations, no-shows, and overbooking when there is a sequential delivery of service[J]. Annals of operations research (S0254-5330), 2013, 206(1): 401-423.
- [10] Zhu L, Geng N, Xie X. MDP-based appointment scheduling for one examination of two types of outpatients[C]. Automation Science and Engineering (CASE), 2013 IEEE International Conference on. IEEE, 2013: 764-769.
- [11] 苏强, 姚晓耘, 施京华. 基于 MedModel 的医院挂号流程仿真与优化[J]. 工业工程与管理, 2006, 6: 59-63.
- Su Qiang, Yao Xiaoyun, Shi Jinghua. MedModel based hospital registration process simulation and optimization [J]. Industrial engineering and management, 2006, 6: 59-63.
- [12] Ma Li, Ma Meiqiong, Ma chao, et al. Simulation and optimization study on layout planning of plant factory based on WITNESS[J]. International journal of security and its applications (S2207-9629), 2016, 10(5): 275-282.
-
- (上接第 4453 页)
- [12] Zhou G, Zhou Y, Chen Y, et al. Application of the Linear Method Based on the Fuzzy Theory of Ship's Track Keeping Controller[J]. Journal of Chinese Inertial Technology(S1005-6734), 2000(4): 69-83.
- [13] Zhou G, Yao Q H, Chen Y B, et al. Global straight-line tracking control of ships based on input-output linearization[J]. Control Theory & Applications (S1000-8152), 2007, 24(1): 117-121.
- [14] Fossen T I, Grovlen A. Nonlinear output feedback control of dynamically positioned ships using vectorial observer backstepping[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology (S1063-6536), 1998, 6(1): 121-128.
- [15] Vadim I Utkin, Hao Chi Chang. Sliding mode control on electro-mechanical systems[J]. Mathematical Problems in Engineering(S1024-123X), 2002, 8(4/5): 451-473.
- [16] Zhang X K, Guo C, Du J L. Asymmetric information theory and nonlinear backstepping robust control algorithm of ship navigation[J]. Journal of Traffic & Transportation Engineering(S2095-7564), 2006, 6(2): 47-50.
- [17] Li J, Zhang D, Li J, et al. Backstepping and Sliding-Mode Techniques Applied to Distributed Secondary Control of Islanded Microgrids: Backstepping and Sliding-mode Techniques for Islanded Microgrids [J]. Asian Journal of Control(S1561-8625), 2017(2).
- [18] Zhang J, Sun C, Zhang R, et al. Adaptive Sliding Mode Control for Re-entry Attitude of Near Space Hypersonic Vehicle Based on Backstepping Design[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica(S2329-9266), 2015, 2(1): 94-101.
- [19] Utkin V I. Sliding Modes in Control and Optimization[J]. Communications & Control Engineering (S0178-5354), 1992, 189(3):1372.
- [20] Li G H, Zhou S P, Yang K. Generalized projective synchronization between two different chaotic systems using active backstepping control[J]. Physics Letters A(S0375-9601), 2006, 355(4): 326-330.
- [21] Davila J. Exact Tracking Using Backstepping Control Design and High-Order Sliding Modes[J]. IEEE Transactions on Automatic Control(S0018-9286), 2013, 58(8): 2-077-2081.