

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.02.015

集成中药配药系统上药排布优化研究

蔡云霄, 张敏良

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要:为提高中药原生态药材配药的效率,提出了针对中药药材的智能配药系统。设计了系统关键部分的硬件结构,对系统进行三维建模;基于系统的立体三维布局,针对上药、配药时所产生的药位分配问题,采用遗传算法进行多目标优化,并提出了优化模型;依据优化模型对智能配药系统的上药过程进行了仿真。仿真结果表明,优化方案能高效完成药位的分配,提高了中药配药工作效率。

关键词:智能配药系统;多目标优化;遗传算法;集成设计

中图分类号:TP273

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2019)02-0080-05

Study on Optimization of Dispensing System of Integrated Traditional Chinese Medicine

CAI Yunxiao, ZHANG Minliang

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering and Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: An intelligent dispensing system was proposed to improve the dispensing efficiency of the traditional Chinese medicinal materials. The hardware structure of the key part of the system was designed and the 3D modeling was established. Based on the three-dimensional layout of the system, an optimized model which adopts the genetic algorithm to realize multi-objectives optimization was proposed to solve the drug allocation problem during the dispensing. The dispensing process carried out by intelligent dispensing system was simulated based on this optimized model. The simulation results show that this optimization scheme can achieve the high-efficiency drug allocation and effectively improve the drug dispensing efficiency.

Keywords: intelligent dispensing system; multi-objective optimization; genetic algorithm; integration design

中药是华夏文明的一个重要组成部分,目前所探知到的运用于中药的植物多达1万种,常用药材也有1800多种,储量非常惊人^[1]。中药有着西药所不具备的优势,具有副作用小,纯天然属性,标本兼治等特性^[2]。可是沿用了上千年的中药配药及抓药的方式,早已不能适应如今快节奏、高效率现代社会^[3]。国内中药生产的智能配药系统,结构大多沿用国外西药配制的智能配药系统。因此,在中医药理论指导下,运用现代制剂技术,将中药饮片按提取、浓缩、干燥和制粒等步骤制成颗粒状药物的中药智能配药系统对中药的发展具有重要意义^[4]。

课题组针对中药原生态药材进行智能配药系统结构设计,对象是已定量封装好的、由小袋连成串的中药

卷盘。

1 系统组成及工作流程

中药智能配药系统由机械和电气两部分组成^[5-6]。机械部分包括上药盘机器人、中药盘开卷装置、中药输送计数切断装置、中药分配及收集装置、中药包装和药带喷码装置。电器部分则是结合医院信息系统(hospital information system, HIS),由上位PC机和运动控制卡来控制各工序正常运行。工作流程及各装置功能示意图如图1所示。

不同种类的中药材分装于不同编号的中药卷盘中,由上药机器人进行上药。中药卷盘中每小袋中药都已根据药方对药量进行了合理化标准定量。在按照药方配药时,只需要把药方中的每种中药材对应的药

收稿日期:2018-09-28;修回日期:2018-12-03

第一作者简介:蔡云霄(1994),男,湖北武汉人,硕士研究生,主要从事机械控制系统仿真研究。E-mail:czhx420335@163.com

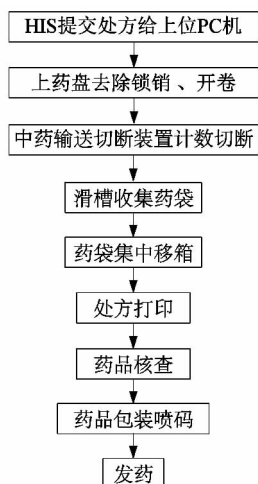


图1 系统工作流程

Figure 1 System working flow chart

量换算成中药卷中标准袋的袋数,就可以通过计数切断装置对药材进行准确定量了。被切断的中药带通过中药分配装置推入到对应药方的立式滑槽中,再集中收集到配药箱,配药工序完成。

配药模块包括中药盘开卷到药剂集中移箱,是整个系统的核心。课题组主要针对配药模块进行结构设计,并建模仿真。

2 集成中药配药系统三维立体建模及位置结构简图

课题组运用集成设计的方法对中药配药系统进行设计。集成设计与控制是一个复杂、综合的设计方法,它将对于工厂动力学的系统化分析融入到了过程控制之中,以便在控制和经济层面寻求到一个妥善的办法^[7]。每一味中药对应着一套中药盘开卷装置、中药输送计数切断装置、中药分配装置和中药集中装置,将这些装置进行合理集成,以保证在减少系统所占空间的同时不影响系统的工作效率。运用三维软件SolidWorks绘制的系统三维模型如图2所示。

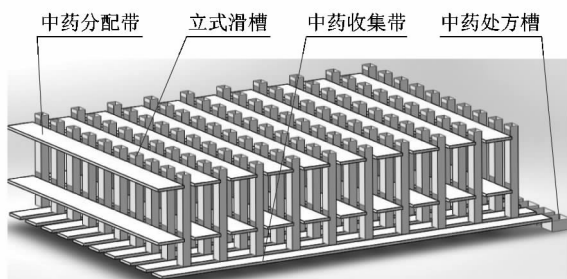


图2 中药配药系统结构

Figure 2 Structure of traditional Chinese medicine dispensing system

中药配药系统包括中药分配装置和中药集中装置。图2中,中药分配带一边是立式滑槽一边则是推送气缸。分配装置分为两层,每一层对应着一种中药材,由中药盘开卷装置和中药输送计数切断装置供应。由于每副药不可能只有一味药材,而中药智能配药系统每次配药也不可能只是配同一处方,所以在大多数情况下,需要多位药同时进入配药流程。集成配药系统立体方位示意图见图3。

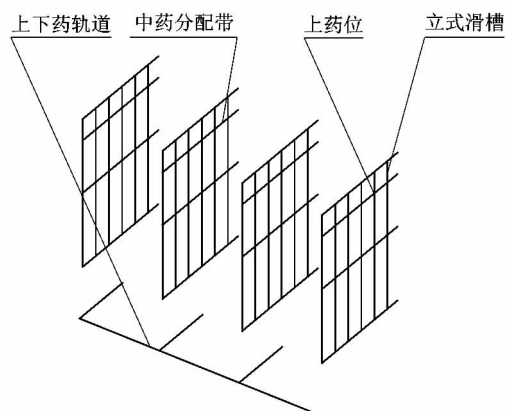


图3 集成配药系统立体方位示意图

Figure 3 Three-dimensional orientation diagram of integrated pharmaceutical preparation system

3 集成中药配药系统上药路径规划仿真

由于多味中药、多副中药处方进行统一配制,所以对每个上药位根据距离以及处方配药优先级进行合理规划是完全有必要的。合理的路径规划不仅能提高配药效率,还可以防止上药时出现药品存量与药品使用量间相互矛盾的现象。

3.1 合理规划药品药位

在中药智能配药系统中,中药带按不同规制进行盘卷后,会通过上药盘输送带输送至不同仓储槽中,为了提高配药效率,槽位的分配也必须遵守一定原则^[8]:

1) 距离优先的原则。按照中药药材的使用频率,将使用频率高的药材安排放置在低层且距离存储中药药材的储药槽近的储药位;同时,优先选择距离出仓储槽近的集成配药系统。

2) 药品相关性原则。上位机面对HIS发送的毫无规律的处方,在给下位机下达指令前,有必要将所用药材相似的处方进行归类。根据这一归类信息,来筛选出具有关联性的药材,在药位分布规划之时,就可以将这些具有关联性的药材,储存在临近的上药位。

根据映射的货品-货位耦合分配策略^[9],对药品区

和上药位进行编号。

1) 上药位编号

对于同一个上药轨道来说,左右两侧同等位置到上药机械臂距离相同,所以在给上药位编号时应同时对两侧编号,即联合编号,具体如图4所示。

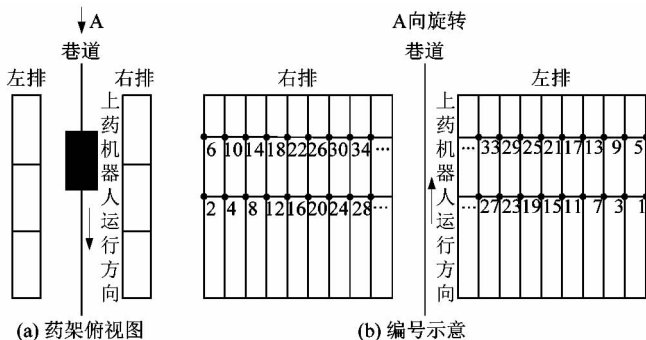


图4 上药位编号示意图

Figure 4 Schematic diagram of drug number

图4针对2层左、右2排的集成中药系统进行编号,其中方框中编号右排针对的是左上角横竖线交点,而左排是针对右上角交点。

2) 药品区编号

按照 Heskett^[10] 的立方体索引号 (cube-per-order index, COI) 规则计算某味中药的 COI 值,则有

$$I_i = C_i / f_i \quad (1)$$

式中: I_i 为第 i 味药的 COI 值, $i = 1, 2, 3, \dots, m$; C_i 为第 i 味药所需的库存容量; f_i 为第 i 味药的出库频率。

由式(1)可知 COI 值与货品出库频率成反比。可据此对中药药品进行等级划分,等级越小,表示该药品的出库越频繁,即优先级越高。

3.2 药品输送分配策略及模型实现

在智能集成配药系统中,针对不同药品匹配合理的上药位能够提高配药效率,为此提出了如下分配策略:

1) 改进的先入先出^[11]策略

根据配药系统实际运行情况,严格按照入库先后选择巷道和上药位可能会导致系统出现空闲的情况。可以设置一个药材检验合格的有效期,在这有效期内,药材严格按照送入储药仓库的时间先后进行出库操作。如药品入库时间若不足1个月的话,那就忽略时间先后原则,按距离优先原则来实施上药、出药操作。

2) 下层优先策略

由于配药装置分为2层,下层上药比上层要便捷,再考虑到不同品种的中药卷盘规格和质量,考虑上轻

下重的上药模式,即上药分配的过程中,下一层级始终比上一层级的优先级要高。

按照以上2条策略,对系统调度进行优化。根据改进的先入先出,上药位与货品之间的分配有:

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{R=1}^n I_i \cdot R \quad (2)$$

式中: R 是上药位, $R = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

优化目标为 Q 值最小, Q 越小,表明药品的出库频率(使用性)与距离优先原则匹配得越好。

据下层优先策略,再结合不同规格盘卷质量不同的界定,有:

$$S = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^2 (W_{jk} \cdot j) \quad (3)$$

式中: j 是上药位的列数, J 则是一条上药巷道中所对应上药位的总列数; k 是上药位的行数, $k = 1, 2$; W_{jk} 是集成配药装置第 j 列第 k 行所对应中药上药时中药卷盘的质量。

假设上药机械臂水平运行的速度为 v_x , 竖直运行的速度为 v_y , 那么一次上药所耗时间

$$t_{jk} = \frac{L \cdot j}{v_x} + \frac{H \cdot (k-1)}{v_y} \quad (4)$$

式中: L 是两列上药位间的距离; H 为2层上药位间的距离; t_{jk} 仅代表着第 j 行与第 k 列处上一位药机械臂所要花费的时间,而并非是实际的上药耗时。

第 i 味药的上药时间

$$t_i = \sum_{p=1}^{i-1} t_p + t_{jk(i)} \quad (5)$$

式中: t_p 表示第 p 位药的上药时间; 而 $t_{jk(i)}$ 则代表第 i 味药根据式(4)所求出的机械臂耗时。

由此,可得上药系统调度规划的关于耗时长短的优化指标:

$$T = \sum_{i=1}^m t_i \quad (6)$$

集成中药配药系统的调度问题是一个多目标优化的问题,对多个目标取优的方法有很多,课题组针对本系统选择 Pareto 最优解的概念进行求解。

基于遗传算法调度规划的实现的步骤,如图5所示。

适应度取值:

$$f_i = w_1 \cdot f_{Q_i} + w_2 \cdot f_{S_i} + w_3 \cdot f_{T_i} \quad (7)$$

式中: $f_{Q_i} = Q_{\max} - Q$; $f_{S_i} = S_{\max} - S$; $f_{T_i} = T_{\max} - T$; $Q_{\max}$, $S_{\max}$ 和 $T_{\max}$ 为式(2)、式(3)及式(6)所求结果的最大值; w_1 , w_2 和 w_3 为权重系数,且 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ 。

当然,适应度必须保证大于或等于零,所以在计算的过程中,应将那些小于零的值直接赋值为零。

f_i 是最终优化的目标函数,综合考虑 Q , S 和 T 这

3 个指标,求出 f_i 的最大值,即是最终的最优解。

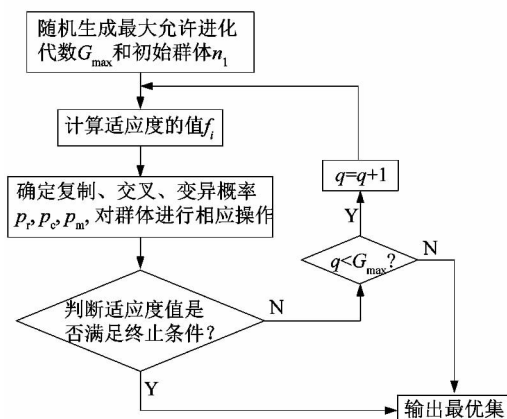


图5 遗传算法实现步骤流程图

Figure 5 Genetic algorithm implementation steps flow chart

假设只考虑最常用的 300 味药材,将配药装置设计成由 5 巷道 2 层 15 列的集成而成的装置。也即是说,每一巷道,分左右两排配药装置,共有 60 个上药位,编号范围为 1~60,而每排又分为 2 行 15 列,则 $j = 1, 2, 3, \dots, 15; k = 1, 2$ 。

为了验证方便,假设在某一巷道所有的 60 味药被分为了 5 个药品等级,根据上述模型,对这 5 个等级的药品进行上药区划分,药品基本信息如表 1 所示。

表 1 5 个等级药品基本信息

Table 1 Basic information of 5 grades of drugs

药品等级	出库频率/ (个·d ⁻¹)	单个中药盘 卷质量/kg	单一巷道中药 药物味数
1	100	60	6
2	250	80	16
3	150	70	10
4	350	100	24
5	50	30	4

每排货架长 5 050 mm,宽 1 090 mm,高 2 720 mm;机械臂的平移和伸缩速度分别为 400 和 300 mm/s。构建一个 15×2×2 维的矩阵。

取种群规模 $n_1 = 100$,交叉概率 $p_c = 0.7$,变异概率 $p_m = 0.05$,寻优代数 $G_{\max}$ 为 300,根据上述模型及相关数据,对智能中药配药系统上药路径规划问题进行仿真,运行结果如图 6 所示。

图 6 中, T_y 表示遗传算法中,每一代种群上完整条巷道的药物后所用的最短时间; T_m 表示上完整条巷道所需要用的最长时间。显然,运用该优化方法,在中药智能系统配药排布优化问题上,取得了显著的效果。

为了使仿真结果更为直观,把所有的 60 味药进行合理编号,编号结果如图 7 所示。

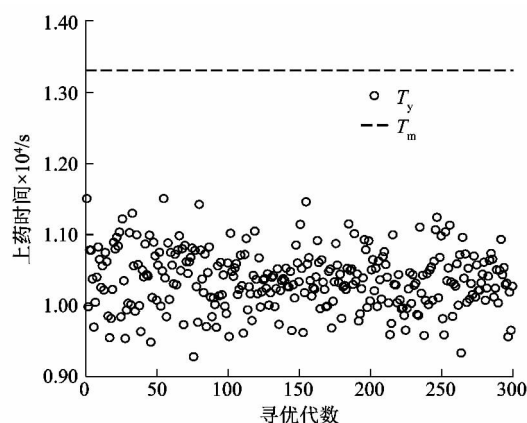


图6 300 代时间 T 寻优结果

Figure 6 Optimization results of 300 generation time T

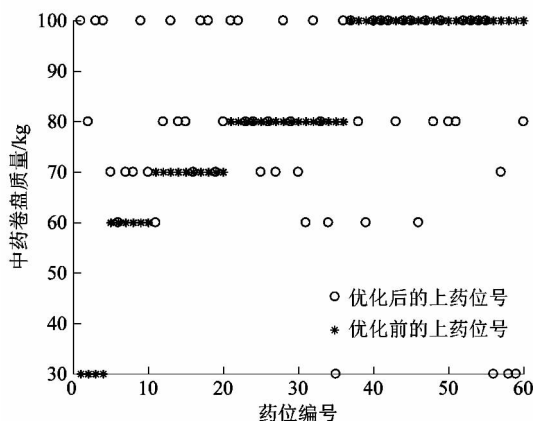


图7 药品上药位分配图

Figure 7 Map of medicine location distribution

通过仿真,所得结果是一个含有 300 个解的最优解集,为了量化结果,文中提出时间的平均解。若将寻优代数记为 q ,则有:

$$T_{\text{avg}} = \sum_{q=1}^{G_{\max}} T_{y(q)} / G_{\max} \quad (10)$$

求得最优解为 $T_{\text{avg}} = 10\,310$ s,与未优化前的 13 312 s 来说,有着显著提升。

4 结语

课题组设计了一套中药智能配药系统,研究了系统上药分配策略、任务分配策略和库位分配策略及其实现方案,提出了基于自动上药路径优化问题的数学模型,结合 MATLAB 软件对该模型进行编程模拟仿真,模拟配药和上药时机械臂上药速度、不同药材上药位号、不同药材使用率等一系列现实参数,能够直观且准确地呈现中药智能配药时的场景。针对这个多目标问题的优化,课题组基于 Pareto 最优解的概念,运用遗

(下转第 88 页)