

基于全成分免煎中药的处方自动调配系统^①

侯 亮, 张晓蓉, 王建宇, 何 新

(南京理工大学 自动化学院, 南京 210094)

摘 要: 为解决传统中药房医护人员压力大、发药效率低等问题, 采用模块化结构设计并实现了一种基于颗粒状全成分免煎中药的处方自动调配系统, 实现从处方获取、处方分析到处方调配的高度自动化. 并给出了药品库组织的一般性方法, 研究比较了不同瓶库调度算法对系统处方调配效率的影响. 实践表明, 该系统发药准确、人机友好、操作简单、处方调配效率高, 具有极高的实用价值.

关键词: 全成分; 免煎中药; RFID; 自动调配; 协议帧; 模块化

Automatic Prescription Mixing System Based on Total Components of Non-Decocted Chinese Medicine

HOU Liang, ZHANG Xiao-Rong, WANG Jian-Yu, HE Xin

(School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: To solve the traditional pharmacy health care high pressure, low efficiency and other issues, an automated prescription mixing system based on boil-free granule of Traditional Chinese Medicine of total components is designed and implemented with modular design. It obtains from prescription get, prescription analysis to prescription process automatically. This paper proposes a general method for medicine depot organizations, studies different scheduling algorithms of bottle using and compares their effects to mixing efficiency. Practice shows that the system is easy to operate and human-friendly, and has high accuracy, efficiency, and practical value.

Key words: total components; non-decocted Chinese medicine; RFID; automatic mixing; protocol frame; modular

中药具有纯天然、副作用小、标本兼治的优点. 我国具有悠长的中药历史, 但是传统中药难以携带、储存和煎制. 随着中药提取技术的不断发展, 出现了新型中药配方颗粒, 我国在 2001 年正式将中药配方颗粒纳入中药饮片包标准. 全成分中药配方颗粒具有高浓度和免煎两个突出优点, 省去了传统中药的煎制过程, 大大促进了中药的推广.

传统中药配药采取人工称称, 不仅效率较低, 而且容易出错. 随着科学技术的不断发展, 自动化技术融入各个行业, 实现药房的自动化出药以及信息化管理已经成为必然趋势^[1], 而中药配方颗粒的出现为中药处方自动调配扫清了障碍. 本文结合通信技术、数据库技术、数据挖掘、单片机等技术, 设计并实现了中药配方颗粒自动调配系统, 除上药取药环节外, 其

余过程均无须人工干预, 出药准确迅速, 大大提高了出药效率, 减轻了医护人员的工作压力, 随着该技术的推广, 必然会给传统中药房带来重大变革.

1 免煎中药处方调配系统总体架构

1.1 系统架构

总线方式具有易于连接、方便扩展及控制简单^[2]等优点, 因此系统采用总线方式连接各个下位机模块, 系统整体架构如图 1 所示. 主控计算机作为系统的核心模块, 通过网络链路与 HIS 主机连接, 通过 RS232 转 RS485 接口连接下位机总线, 负责从医院 HIS 主机接口软件获取处方信息、分析处方以及向下位机模块发送处理指令. 本文系统下位机包括 1 个瓶库控制模块、1 个补货模块和 4 个调配机控制模块, 瓶库模块负

^① 收稿时间:2014-07-14;收到修改稿时间:2014-08-15

责点亮槽位上的 LED 灯, 以便操作员迅速找到处方中的药品, 补货模块负责向上位机上传补货重量, 调配机模块完成颗粒混合调配的整个过程。

该设计方案具有以下几个优点:

(1) 系统采用了模块化的设计思想, 模块之间相互独立, 互不影响, 当系统出现故障时, 很容易进行故障判断, 降低了系统维护难度;

(2) 下位机模块均连接至 RS485 总线, 可以很方便的在原有系统上进行模块扩充, 而不影响系统原有模块, 具有很强的扩展性能;

(3) 所有下位机模块使用连续的设备 ID 进行统一编址, 因此主控计算机可以采用统一的指令帧格式进行控制。

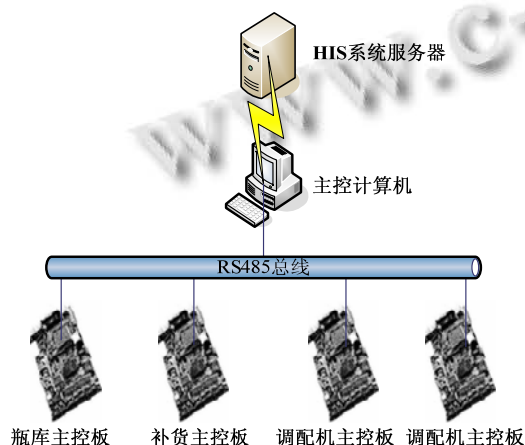


图 1 系统总体架构

1.2 系统工作流程

本文系统实现医院中药处方的自动获取和调配, 如图 2 所示, 上位机首先从 HIS(Hospital Information System, 医院信息系统)^[3] 获取需要处理的处方, 经过处方分析之后, 向下位机瓶库控制板发送亮灯指令, 操作员根据亮灯状态取出当前处方的所有药瓶, 放入调配机中, 调配机控制板检验药品种类是否和处方一致, 若一致则根据上位机发送的发药指令开始发药, 通过出药电机控制出药量, 若不一致则通过触摸屏告知操作员。调配机发药结束后, 上位机打印处方信息以及服用指南, 操作人员根据药瓶编号将药瓶放回药品库中。

上位机分析处方过程中, 首先需要检查处方中是否存在禁忌配伍^[4], 若存在则需要将该处方返回, 等待医生确认; 然后检查当前处方所需药品是否可用,

若存量不足则需要紧急补货, 若存量足够, 但正在被使用, 则该处方需要被挂起, 并进入挂起队列等待处理。

系统采用 4 台调配机并行工作, 同一时刻可以处理 4 个处方, 且单个处方可以 16 个药瓶同时进入调配机发药, 相比于现有某些系统每次取一个药瓶的入座方式, 发药效率大大提高, 同时进一步减少了人工参与。

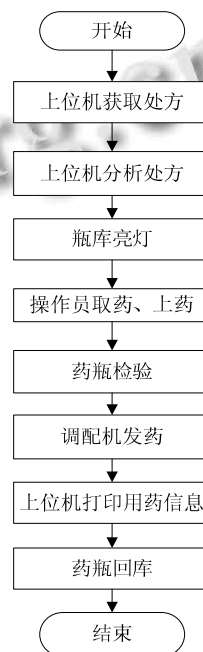


图 2 系统工作流程图

2 系统硬件设计

2.1 药品识别结构设计

为确保补药、发药过程用药准确, 本文系统中每个药瓶的头部均安装有射频卡, 发药之前对所取药瓶进行确认, 如图 3 所示, 系统采用基于 RFID^[5,6] (Radio Frequency Identification, RFID) 的射频技术, 该模块包含阅读器模块和应答标签两部分, 其中应答标签被置于药瓶头部, 作为药瓶的唯一标记。阅读器模块原理图如图 4 所示, 其中 6 号引脚接高电平选用 ASCII 输出模式, 3 号引脚采用 RS232 连接输出射频卡信息。

2.2 药瓶库的设计

本系统中药品库采用立体柜式的组织结构, 如图 5 所示, 所有槽位、药瓶统一编号, 药瓶入柜时需要确保编号一一对应。为提高调配机的工作效率, 系统设计为多台调配机并行工作, 每个调配机处理一个单独的处方, 因此一些常用药品存在一品多瓶现象。药品

库每个槽位都有一个三原色 LED 灯, 不同的颜色对应不同的状态.



图3 药瓶设计

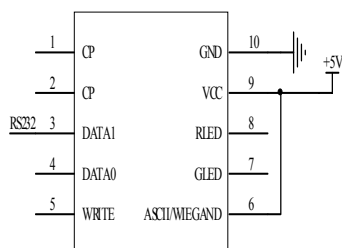


图4 RFID 阅读模块原理图

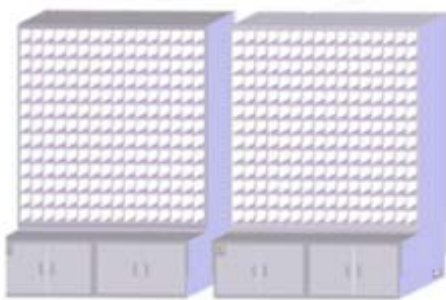


图5 药瓶库

表1 瓶库槽位颜色状态表

状态编号	LED 颜色	状态
1	红色	存量不足, 需要补货
2	紫色	故障
3	黄色	1号调配机所需药瓶
4	绿色	2号调配机所需药瓶
5	棕色	3号调配机所需药瓶
6	橙色	4号调配机所需药瓶

如表1所示, 槽位可能出现上述6种不同的状态, 为避免由于多种颜色灯同时亮起而出现操作错误的情况, 任意时刻瓶库只为一个处方亮灯, 当且仅当一个处方(对应一台调配机)所需的药瓶已经全部取出后, 才会处理下一个处方, 即状态3--状态6不会同时出现.

2.3 调配机控制板硬件设计

在本文系统中, 调配机控制板采用 TMS320F28335 作为控制核心, 该芯片是 TI 公司的 32 位可编程浮点型 DSP 处理器^[7], 内核工作电压 1.8V, GPIO 工作电压为 3.3V, 具有多达 18 路的脉宽调制 (PWM) 输出以及 3 个 SCI(UART) 模块, 同时具备丰富多样的外设接口, 可以很容易的进行系统扩展. 芯片工作频率为 150MHz, 运算速度快、成本低、功耗小, GPIO 提供输入滤波, 具有很强的抗干扰能力, 支持

JTAG 在线仿真, 易于调试, 特别适合于信号处理、运动控制等领域. 本系统涉及很多电机的运动控制、串口通信以及射频卡信号采集, 此款处理器能够很好的满足系统需求.

EPM7128 是 Altera 公司 MAX7000 系列的一款 CPLD(Complex Programmable Logic Device, 复杂可编程逻辑器件)^[8], 内核工作电压 5V, I/O 输出电压 3.3V, 采用 ROM 工艺, 掉电不丢失, 内部集成 2500 个门电路, 具有一定的运算能力, 在 Quartus II 环境下使用 VHDL 能够很方便的对其编程. 在本系统中主要用于传感器信号的采集, 处理后得到稳定的电平信号, 送至 DSP 处理器进行调度控制. 选择 EPM7128 的主要原因是该芯片输出引脚与上述 DSP 输入引脚具有兼容的电平信号, 能够直接相连, 无须进行电平转换, 并且本系统不涉及复杂的信号处理. 图 6 显示了本系统调配机控制板硬件系统结构.

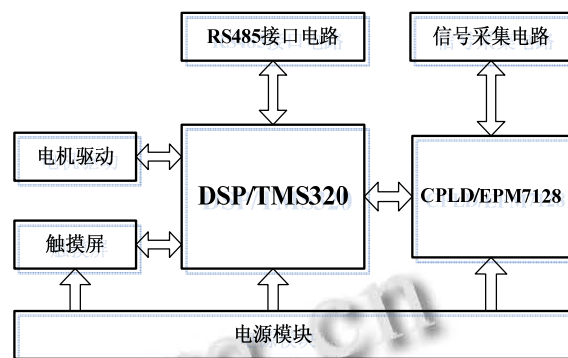


图6 调配机控制板硬件结构

由图6可知, 除 TMS320F28335 和 EPM7128 核心部分外, 控制板还包括电机驱动、人机交互、RS485 接口等重要组成模块. 其中电机驱动模块由 H 桥组成, 根据 DSP 的 PWM 信号提供相应的电流信号控制电机运行; 人机交互接口主要包括矩阵键盘、触摸屏等设备, 用于与操作员进行交互以及实时显示调配机的工作状态; RS485 接口电路实现 DSP 控制器与主控计算机的连接.

3 系统上位机软件设计

3.1 软件总体架构

本文系统上位机是由多个模块相互协作的控制管理软件. 如图7所示, 中药处方自动调配软件系统由3大模块组成, 分别是: 通信模块、调配模块和辅助模块,

各个模块之间具有较低的耦合度^[9]。根据功能又将这 3 个模块细分为功能相互独立的 8 个子模块, 模块细化后, 降低了系统开发难度, 节约了后期系统维护成本。

其中调配机模块为软件的核心模块, 细分为处方处理模块、调配机模块、瓶库模块和补货模块, 负责处方的获取、校验分析以及调配, 其中调配模块用于检验出药药瓶是否和处方一致, 同时控制每种药品的出药量。

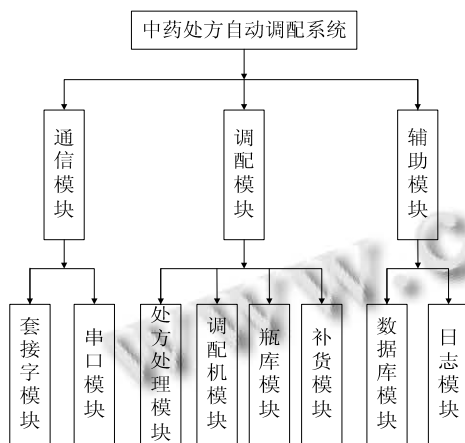


图 7 软件总体架构

3.2 通信技术及协议

系统首先从医院的 HIS 获取处方。在医院 HIS 主机上运行 HIS 接口软件, 负责查询 HIS 数据库中的新处方, 并采用 JSON 数据格式^[10]打包处方信息。上位机通过 Socket 通信方式与 HIS 接口软件定时通信, 获取 JSON 格式数据, 解析得到处方信息。

系统中上位机与下位机通信采用工业控制中常用的串口通信, 采用指令/应答的通信模式, 上位机每发送一条指令帧, 下位机都会根据当前状态回复一条状态帧。系统采用总线方式连接各个模块, 各个下位机模块根据当前指令帧的设备 ID 判断是否处理指令。指令中采用 CRC(Cyclic Redundancy Check, 循环冗余校验码)^[11]作为指令的校验方法, 该方法利用除法和余数原理进行差错检测, 实现简单且具有很强的检错能力。本文系统上下位机采用统一的指令帧格式, 如图 8 所示。

该协议格式简单、可扩展性强、校验完备、稳定可靠, 实践表明, 该协议帧格式能够很好的满足系统需求, 同时具有很强的容错能力。

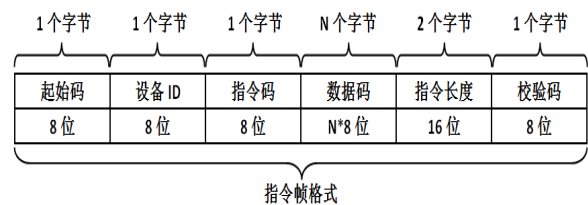


图 8 系统指令帧格式

3.3 药瓶库的组织

本系统中多台调配机并行工作, 为提高系统的工作效率, 需要根据不同医院的处方用药习惯, 对药瓶库进行针对性的组织。药瓶库组织的主要问题如下:

1) 处方冲突, 若两台调配机当前处理的处方分别为处方 A 和处方 B, 经处方分析后所需药瓶如下:

$$\text{处方 A 药瓶} = \{ \text{药瓶 A1, 药瓶 A2, 药瓶 A3, 药瓶 A4, 药瓶 A5, 药瓶 A6} \} \quad (1)$$

$$\text{处方 B 药瓶} = \{ \text{药瓶 B1, 药瓶 B2, 药瓶 B3, 药瓶 B4, 药瓶 B5, 药瓶 B6} \}$$

若 $\text{处方 A 药瓶} \cap \text{处方 B 药瓶} \neq \Phi$, 则处方之间出现冲突;

2) 紧急补货, 当药瓶库中某种药品存量无法达到处方需求时, 该处方会被挂起, 同时需要对该药品进行紧急补货;

根据 George Zipf 的 Zipf 定律^[12], 在自然语言中, 某个词汇出现的频率与其在频率表中的排名成反比。如公式(2)所示, 若将处方中每个药品看作一种词汇, 按照词汇出现的频率进行排名, 那么下一个药品为排名 k 所对应的药品的概率是 C/k , 其中 C 是归一化常数, 假设共有 N 种药品, 则有

$$C/1 + C/2 + C/3 + C/4 + \dots + C/N = 1 \quad (2)$$

Zipf 定律预测下一个词汇是排名第一的词汇的概率为 C, 是排名第二的概率为 $C/2$, 是排名第三的概率为 $C/3$, 以此类推。由此可知, 药品在处方中出现的频率越高, 那么下一个处方出现该药品的概率越大, 图 9 为某中医院使用频率最高的前 20 种药。

由图 9 可知, 随着处方数量的不断增加, 药品在处方中出现的频率趋于稳定, 该结果表明, 该医院处方对药品的使用呈现明显的规律性, 每种药的处方使用频率逼近某个固定值, 因此可作为瓶库组织的重要参考依据。

另外, 针对问题(2), 可以根据医院每天的处方规模, 研究其对于各种药品的平均需求量。若某医院每

天的平均处方量为 w ，则重复 10 次随机选取 $1.2 * w$ 个处方，计算其对于每个药品的日均需求量 $w_i (1 \leq i \leq N)$ ，因此由公式(3)可以得到每种药品的日均需求药瓶数 d_i ：

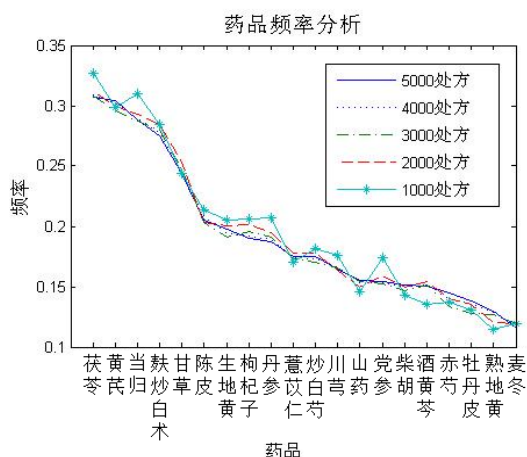


图9 药品频率分析

$$d_i = w_i / c_i \quad (1 \leq i \leq N) \tag{3}$$

式中 C_i 为每种药品的瓶容量。

综合上述讨论，药品库中每种药品需要设置的药瓶数量 $n_i (1 \leq i \leq N)$ 可通过公式(4)得到：

$$n_i = \min \{ \max \{ S * M * P_i, d_i, 1 \}, S * M \} \quad (1 \leq i \leq N) \tag{4}$$

n_i 取两种情况下的较大值，为防止瓶库容量过大，同时需要保证 n_i 的最大值为系统中调配机数量 M 的 S 倍。 S 为瓶库规模因子， $S = H / S_{base}$ ， H 为医院的日均处方量， S_{base} 为基础处方量，系统中取 $S_{base} = 250$ 。式中 M 为系统中调配机的数量， $P_i (1 \leq i \leq N)$ 为药品的频率百分比，由公式(5)得到：

$$P_i = \frac{P_{max}}{N} * p_i * 100\% \quad (1 \leq i \leq N) \tag{5}$$

式中 P_i 为图9分析出的药品在处方中出现的频率。

3.4 瓶库调度算法研究

本文系统配有 4 台调配机，设计为 4 个处方并行处理，因此瓶库中常用药品存在一品多瓶。若初始情况瓶库所有药品均为满瓶状态，随着处方不断被处理，瓶库中药品库存不断减少，对于一品多瓶药品的选择将会对系统运行效率造成较大影响。瓶库调度算法研究的目的在于减少凑瓶现象以及紧急补货的次数。

3.4.1 凑瓶算法

凑瓶现象，当药品库中单个药瓶的药量无法满足

处方需求时，可以使用同一种药品的多个药瓶进行凑瓶，从而达到处方所需的量。凑瓶以所需药瓶数量最小为原则，假设处方中某药品需求量为 R ，该药品可用药瓶数量为 n ，具体凑瓶方法如下：

1) 将当前该药所有可用药瓶按照剩余药量从大到小排列，如式(6)所示：

$$L_{a1} \geq L_{a2} \geq L_{a3} \geq \dots \geq L_{an} \tag{6}$$

式中 $a_i (1 \leq i \leq n)$ 为药瓶编号， L_{a_i} 代表编号为 a_i 的药瓶的剩余药量，且满足 $0 < L_{a_i} < R$ ；

2) 优先选取剩余药量大的药瓶，逐步累加剩余药量，直至满足需求药量 R ，式(7)：

$$\min \{ m \mid \sum_{i=1}^m L_{a_i} \geq R, m \leq n \} \tag{7}$$

根据式(7)即可求出凑瓶所需的最小药瓶数 m ，则编号为 $a_i (1 \leq i \leq m)$ 的药瓶即是该药品的凑瓶结果。凑瓶导致调配机需要处理的药瓶数量增加，降低了发药效率，同时由于使用了一种药品的多个药瓶，导致频繁出现处方冲突，因此需要尽量减少凑瓶出现的次数。

3.4.2 调度算法

本文使用最佳适配和最大适配算法进行药瓶调度的研究。

假设处方中的某种药品需求量为 R ，则药瓶选择的具体步骤如下：

- 1) 计算该药品当前所有可用药瓶剩余总量，若剩余总量小于 R ，则该药品需要紧急补货，且该处方被挂起，调度结束；当剩余总量大于等于 R 进入 2)；
- 2) 检查是否存在单个药瓶药量大于等于 R ，若不存在，按照上述凑瓶算法进行凑瓶，调度结束；若存在一个或多个药瓶剩余药量大于等于 R ，则进入 3)；
- 3) 针对该药品剩余药量大于等于 R 的所有药瓶，采用最佳适配或最大适配算法进行选择。

最佳适配算法(Best Fit, BF)，即在药量满足处方需求 R 的所有药瓶中选择存量最接近处方需求量的药瓶，即将某药品对应的所有可用药瓶按存量从小到大排列，第一个满足处方需求量 R 的药瓶。

最大适配算法(Max Fit, MF)，顾名思义，即每次都优先选择药量满足处方需求 R 的所有药瓶中存量最大的药瓶，即将某药品对应的所有可用药瓶按存量从大到小排列，第一个满足处方需求量 R 的药瓶。

选用某医院两年的处方数据，随机抽取 25000 个

处方, 并采用文中所述的瓶库组织方法组织瓶库. 随机选取一定数量的处方, 分别采用 BF 和 MF 调度算法, 比较 BF 和 MF 的性能.

凑瓶导致处方所需药瓶数量增加, 增加了调配机发药时间; 紧急补货需要人工干预, 降低了系统整体自动化性能; 处方冲突导致挂起队列加长, 则会加大处方延迟. 因此, 实验中采用药品凑瓶数量、紧急补货次数以及系统总的挂起队列长度作为算法有效性的衡量指标. 结合控制变量法和多次实验取平均值的方法减小偶然误差, 具体实施如下:

1) 实验中保证除 BF 和 MF 调度算法外, 瓶库初始状态、处方规模以及处方数据保持严格一致;

2) 相同处方规模下, 多次选择不同的处方数据, 并对实验结果求平均值;

所得结果如表 2:

表 2 BF 与 MF 调度算法比较

调度算法 处方规模	BF			MF		
	凑瓶 数量	紧急 补货	挂起 队列	凑瓶 数量	紧急 补货	挂起 队列
250	50	153	679	116	137	705
500	132	416	1237	449	438	1277
750	202	657	1852	644	669	2449
1000	354	1045	3160	866	1088	3474

由表 2 可知, 同样的瓶库组织方法, 同一处方规模下, BF 和 MF 紧急补货次数大致接近, BF 的凑瓶次数也少于 MF 算法. 初始情况瓶库中所有药瓶均处于满瓶状态, 随着处方不断被处理, BF 算法优先使用药量小的药瓶, 从而保持药品库中存在药量较大的药瓶, 能够满足大处方量的需求, 因而凑瓶次数较少; MF 算法优先使用药量最大的药瓶, 使得药瓶剩余药量比较均衡, 一段时间后将出现“药量碎片”, 因而凑瓶现象频繁出现. 但是, 由于 BF 算法每次均使用药量较小的药瓶, 导致某些药瓶很快被使用完, 从而处于不可用的状态, 因此该算法对药瓶的利用率不高.

另外, 系统维护一个处方挂起队列, 处方并行处理时若出现处方冲突, 根据先来先服务(FCFS)的原则, 将后到的冲突处方加入到挂起队列中等待处理. 系统在每次处理新处方前, 首先逐个检查挂起队列中的处方当前是否能够处理, 若能处理, 则优先处理, 并将其从挂起队列中删除. 实验中每轮发药时累加当前挂起队列长度, 表 2 中结果表明每个处方发药时, 大致有 3-4 个处方处于等待状态, BF 算法的队列长度药

略小于 MF 算法.

实验结果表明, BF 算法在凑瓶数量、紧急补货次数以及系统总的挂起队列长度方面均优于 MF 调度算法, 因此实际系统采用了 BF 算法.

4 结语

本文采用模块化结构设计并实现了一种基于颗粒状全成分免煎中药的自动调配系统, 借助 RFID 射频技术, 很好地保证了发药的准确性. 通过分析医院历史处方来组织瓶库, 结合 BF 算法, 较好地实现了系统功能. 但是 BF 算法没有充分利用每一个药瓶, 下一步将改进调度算法进一步提高系统的工作效率.

参考文献

- 1 陈敏亚, 陆一, 施佳毅. 医院自动化药房建设的实践与体会. 使用药物与临床, 2011, 14(5): 353-353.
- 2 陈夏清, 吴燮华. 应用于数据采集系统中的 485 总线与 CAN 总线比较. 工业控制计算机, 2004, 17(5): 56-57.
- 3 Favela J, Rodríguez M, Preciado A, González VM. Integrating context-aware public displays into a mobile hospital information system. IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine, 2004, 8(3): 279-286.
- 4 尚尔鑫, 范欣生, 段金殿, 叶亮. 基于关联规则的中药配伍禁忌配伍特点的分析. 南京中医药大学学报, 2010, 26(6): 421-426.
- 5 吴欢欢, 周建平, 许燕, 李润萍. RFID 发展及其应用综述. 计算机应用与软件, 2013, 12(30): 203-206.
- 6 邓敦建, 阎跃鹏, 牟荣增. 一种有效的超高频 RFID 读写器防冲突技术. 微电子学与计算机, 2014, 31(1): 92-97.
- 7 符晓, 朱洪顺. TMS320F2833x DSP 应用开发与实践. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.
- 8 芦荣. 基于 CPLD 的 PCI 数据采集系统设计. 工业控制计算机, 2013, 26(6): 47-50.
- 9 何霆, 徐汉川, 郭天明. 面向功能构件的软件构件识别方法研究. 计算机应用与软件, 2011, 8(28): 87-89.
- 10 高静, 段会川. JSON 数据传输效率研究. 计算机工程与设计, 2011, 32(7): 2267-2270.
- 11 莫元劲, 黄水永. 并行 CRC 在 FPGA 上的实现. 电子设计工程, 2011, 11(15): 133-135.
- 12 Zipf GK. The meaning-frequency relationship of words. The Journal of General Psychology, 1945, 33(2): 251-256.