

基于三次多项式变速算法的中药粉剂下药系统

马莹

(福建工程学院 信息科学与工程学院, 福建 福州 350118)

摘要: 中药粉剂配方下药系统是一个精度高、反应大滞后的系统,难以使用传统的方法进行下药控制。为有效实现中药粉剂快速、稳定、高精度的下药问题,本文提出一种利用三次多项式加减速控制算法来实现在线分析医生处方上的中药粉剂配量,并通过 Profibus 光纤模块控制远程变频电机以计算所得运动曲线进行下药控制。实验结果验证了此方法的有效性。

关键词: 远程控制;下药系统;中药粉剂

中图分类号: TH703

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2014)03-0220-05

Traditional Chinese medicine powder feeding system based on cubic polynomial variable speed algorithm

Ma Ying

(College of Information Science and Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: The traditional Chinese medicine powder prescription feeding system is a system of high precision with large response lag. It is difficult to use the traditional methods to control the feeding. A cubic polynomial acceleration and deceleration control algorithm was presented to realize on-line analysis of doctors' prescriptions of the traditional Chinese medicine powder dosage to feed traditional Chinese medicine powder speedily, stably and precisely. A Profibus photofiber module was employed to control a remote frequency-conversion motor to compute the motion curve to implement the feeding. The simulation results indicate that the method is effective.

Keywords: remote control; feeding system; traditional Chinese medicine powder

随着中医药行业的日益复兴,如何安全、快速、有效地给出医嘱配方药剂已成为制约中成药发展的重要因素,而如何在不减弱药性的前提下提高中药配药效率已成为一个研究热点。现有的中药自动抓药系统多为饮片类系统,精度要求不高,下药种类有限,而病患取药后在自行煮制过程中,稍不注意既可能大大削弱药性^[1-2]。近年来行业内大力研发中药粉剂,已初见成效;即将每种不同制法的中药饮片以规范的制药流程制成统一性状的中药粉剂,再以医嘱配方配药后,病患只需开水冲服即可。此方法大大减少了医嘱用药与病

患实用药之间的人为影响,提高了医疗效率。但是目前,中药粉剂仍以人工称量实现配方抓药,而人工称量本身即存在效率低、精度差、药品易受污染等问题。故本设计采用 PLC 技术和现场总线技术实现一种远程控制的中药粉剂配方管理控制系统。该系统采用 315F-2 PN/DP 为主控制器,通过以太网接口及现场总线技术实现对设备不同工作需求的称重及配方控制。由于中药粉剂控制精度要求较高,本文提出了一种利用三次多项式加减速控制算法来实现 18 个下药口快速、稳定、高精度的配方下药问题。

收稿日期: 2014-04-14

基金项目: 2013 年福建省教育厅 A 类科技项目(JA13217)

作者简介: 马莹(1978-),女(汉),吉林长岭人,讲师,硕士,研究方向:控制理论与控制工程。

1 系统架构

考虑系统远距离(大于1 000 m)传输信息的需要,普通的 RS485 Profibus 传输形式不能满足系统需求,所以本系统采用 Profibus 光纤传输来提升系统的传输范围至 20 km 以上。而系统对于称重量程要求为 100 g,精度要求为 0.01 g,故称重模块及传感器的精度要求至少应为 16 位的数据处理能力;本系统选用高速高精度 SIWAREX FTA 为称重模块,已提供稳定准确的称重值反馈信息。配置后的系统

组成框图如图 1 所示。

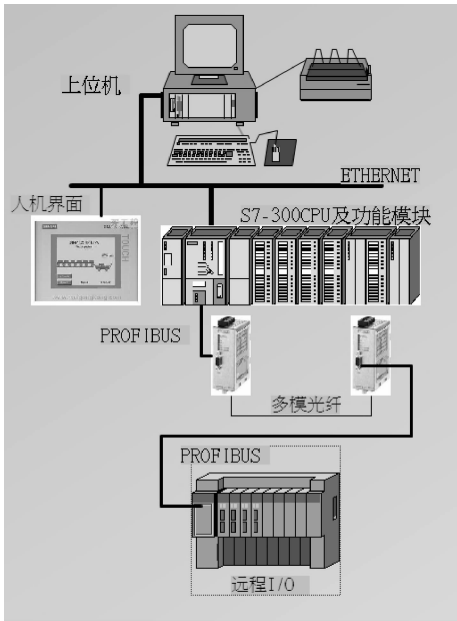


图1 系统结构图

Fig. 1 Feeding and proportioning system structure diagram of the traditional Chinese medicine powder

图中上位 PC 机和触摸屏中分别编制组态界面用于系统操作及配方管理;CPU315 2DP/PN 作为主控制器实现全过程称重及运动控制;为提高控制的准确度及减少布线,系统采用远程 I/O 实现对现场信号的控制。

2 系统控制流程

通过 S7-300 PLC 对十八种中药配方的检测及配方要求,控制每种配方的下药电机对其进行下药控制,通过对应的称重传感器称重,当称重反馈信息与配方相等时停止下药。当药剂量及方剂服数均满足配方要求后,传送电机将配药完成制

剂混合装袋进入下一个环节。
根据控制要求绘制控制流程图如图 2 所示:

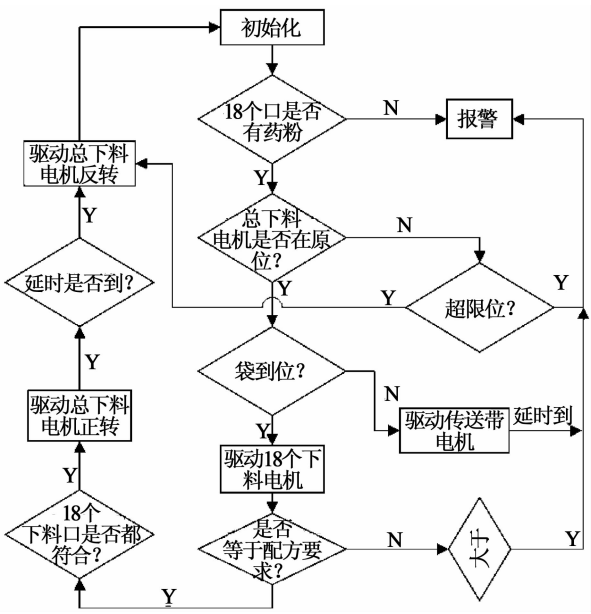


图2 系统流程图
Fig. 2 System flowchart

整个流程中,如何准确、稳定地称取每种药品的下药重量值,如何在满足精度要求的前提条件下控制下药电机稳定、高效的运行,是项目亟待解决的主要问题。对于称重功能,在高精度要求的条件下,环境温度、震动、空气的过速流动均会引起称重结果的不稳定。除了对于设备机械结构及安装环境等外部环境提出需求外,设备本身亦应该有较好的解决温飘、零飘和时飘问题。故系统选用了 SIWAREX FTA 称重模块来实现称重值反馈,模块本身对于温飘、零飘和时飘等问题已提供较好地解决方案。在下药伺服电机运行的过程当中,通过减速机构及机械传动结构最终带动丝杆下药装置实现下药,从而如何促进下药电机的稳定高效运行就成为了项目的关键点。设计采用了三次多项式加减速控制算法来计算伺服电机的运动轨迹,以求达到最佳效果。

3 三次多项式加减速控制算法

本节围绕高速运行中的下药电机所带动的下药量抖动,以及常用的给料控制算法严重限制给料效率提高的问题,提出使用三次多项式加减速控制算法以实现多台下药电机高速平稳的运行。传统的给料控制系统,对于下药电机的速度控制

通常采用分段速控制、PID 控制、模糊 PID 控制等算法。分段速控制在加速段和减速段有频繁的阶跃性变化,使下药系统稳定性减弱,并引入较大的稳定误差;PID 控制和模糊 PID 控制均在牺牲一部分稳定时间的前提下提高系统的稳定性及尽量减小稳定误差,但其参数不易调整。通常为了提高下药效率,我们希望下药电机的运行速度越快越好;而对于高精度要求的控制系统,为了提高稳定性,我们希望下药电机在开始和停止工作时的速度、加速度均为 0,那么就需要规划一条最有效的运行曲线以满足要求。本系统采用三次多项式加减速运行控制算法,以获得最优的运动轨迹。三次多项式加减速控制方法模型如图 3 所示^[5-7]。

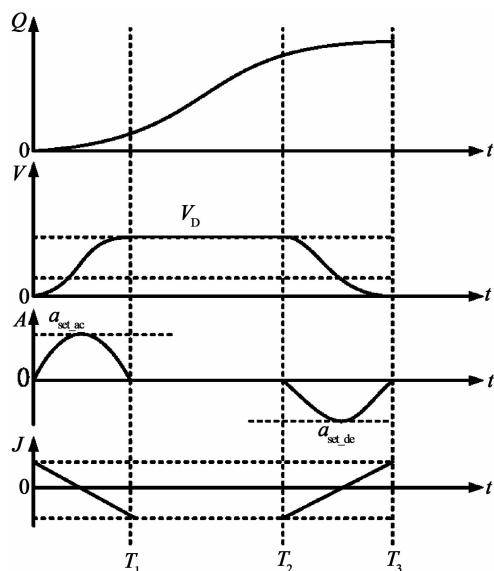


图 3 三次多项式加减速控制模型

Fig. 3 The cubic polynomial acceleration and deceleration model

图 3 中的运动控制曲线大体可以分为三段,分别为加速段、匀速段和减速段。其中 V_d 为匀速段的速度, $[0, T_1]$ 为加速时间, $[T_1, T_2]$ 为匀速时间, $[T_2, T_3]$ 为减速时间。求解三次多项式加减速控制算法的过程如下:

若加速度曲线方程为: $A(t) = mt^2 + nt + p$, 其中 m, n, p 为系统参数。

将临界条件 $t = 0, a = 0$; $t = T_1, a = 0$; 和最大加速度 $t = \frac{T_1}{2}, a = a_{set_ac}$ 代入方程,可得加速度方程组为:

$$\begin{aligned} A(t) &= -\frac{4 \cdot a_{set_ac}}{T_1^2} t^2 + \frac{4 \cdot a_{set_ac}}{T_1} t & t \in [0, T_1] \\ A(t) &= 0 & t \in (T_1, T_2] \\ A(t) &= \frac{4 \cdot a_{set_de}}{(T_3 - T_2)^2} (t - T_2)^2 - \frac{4 \cdot a_{set_de}}{T_3 - T_2} (t - T_2) & t \in (T_2, T_3] \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中, a_{set_ac} 为加速段设定的最大加速度; a_{set_de} 为减速段设定的最大加速度。对加速度求导可得出加加速度 J 的方程为:

$$\begin{aligned} J(t) &= -\frac{8 \cdot a_{set_ac}}{T_1^2} t + \frac{4 \cdot a_{set_ac}}{T_1} & t \in [0, T_1] \\ J(t) &= 0 & t \in (T_1, T_2] \\ J(t) &= \frac{8 \cdot a_{set_de}}{(T_3 - T_2)^2} (t - T_2) - \frac{4 \cdot a_{set_de}}{T_3 - T_2} & t \in (T_2, T_3] \end{aligned} \quad (2)$$

由式(2)方程可知:在加速段和减速段的加加速度都是一阶可导的,也就是加加速度在加速段和减速段是连续的,此特性弥补了以往常用的下药电机控制算法中在加速段和减速段不连续的不足。在式(2)基础上逐次对加加速度求积分可得下药电机速度曲线和下药重量曲线方程如式(3)、(4)所示。

$$\begin{aligned} -\frac{4 \cdot a_{set_ac}}{3T_1^2} t^3 + \frac{2 \cdot a_{set_ac}}{T_1} t^2 & & t \in [0, T_1] \\ V(t) = V_d & & t \in (T_1, T_2] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{4 \cdot a_{set_de}}{3(T_3 - T_2)^2} (t - T_2)^3 - \frac{2 \cdot a_{set_de}}{T_3 - T_2} (t - T_2)^2 + V_d & & t \in (T_2, T_3] \\ -\frac{a_{set_ac}}{3T_1^2} t^4 + \frac{2 \cdot a_{set_ac}}{3T_1} t^3 & & t \in [0, T_1] \\ Q(t) = KV_d(t - T_1) & & t \in (T_1, T_2] \\ \frac{a_{set_de}}{3(T_3 - T_2)^2} (t - T_2)^4 - \frac{2 \cdot a_{set_de}}{3(T_3 - T_2)^2} (t - T_2)^3 + K \cdot V_d \cdot (t - T_2) & & t \in (T_2, T_3] \end{aligned} \quad (4)$$

式中 a_{set_ac} 和 a_{set_de} 分别为最大正、负加速度, K 为电机每转一圈的下药量。

令 $a_{set_ac} = a_{set_de} = a_{set}$, V_D 为匀速段下药速度, 由式(3)、(4)可以看出: 此加减速控制方法在加速段和减速段都只有一个表达式, 在给定最大加速度 a_{set_ac} 和 a_{set_de} 和设定速度 V_D 后, 即可方便快捷地算出任意时间 t 的加加速度 J 、加速度 A 、速度 V 、下药量 Q 和时间 T 。

将 $t = T_1$ 代入式(3)可得:

$$V_D = -\frac{4 \cdot a_{set_ac}}{3T_1^2}T_1^3 + \frac{2 \cdot a_{set_ac}}{T_1}T_1^2 \quad (5)$$

整理后可得加速段的时间参数为:

$$T_1 = \frac{3V_D}{2 \cdot a_{set_ac}} \quad (6)$$

即: 当最大加速度为 a_{set_ac} 时, 下药电机从零速加速到 V_D 所需的时间为 T_1 。

将 $t = T_3$ 代入式(3)可得:

$$T_3 - T_2 = \frac{3V_D}{2 \cdot a_{set_ac}} \quad (7)$$

式中: T_3 为下药时间, $T_3 - T_2$ 为减速段时间, 即在最大负加速度为 a_{set_de} 时, 下药电机从 V_D 减速到 0 所需的时间。

当将 $t = T_1$ 代入式(4)可得:

$$Q_1 = \frac{3}{4} \cdot \frac{K \cdot V_D^2}{a_{set_ac}} \quad (8)$$

同理可得减速段的下药量为:

$$Q_3 = \frac{3}{4} \cdot \frac{K \cdot V_D^2}{a_{set_de}} \quad (9)$$

设某种药品的总下药量为 Q_t , 那么下药电机匀速段的下药量为:

$$Q_2 = Q_t - Q_1 - Q_3 = Q_t - \frac{3K}{4} \cdot \left(\frac{V_D^2}{a_{set_ac}} + \frac{V_D^2}{a_{set_de}} \right) \quad (10)$$

匀速段所用时间 $T_2 - T_1$:

$$T_2 - T_1 = \frac{Q_2}{V_D} = \frac{Q_t}{V_D} - \frac{3K}{4V_D} \cdot \left(\frac{V_D^2}{a_{set_ac}} + \frac{V_D^2}{a_{set_de}} \right) \quad (11)$$

$$T_2 = \frac{Q_2}{V_D} = \frac{Q_t}{V_D} - \frac{3K}{4V_D} \left(\frac{V_D^2}{a_{set_ac}} + \frac{V_D^2}{a_{set_de}} \right) + T_1 = \frac{Q_t}{V_D} - \frac{3K}{4V_D} \left(\frac{V_D^2}{a_{set_ac}} + \frac{V_D^2}{a_{set_de}} \right) + \frac{3K \cdot V_D}{2a_{set_ac}} \quad (12)$$

由式(6)、(7)、(12)可得:

$$T_3 = T_2 + \frac{3K \cdot V_D}{2a_{set_ac}} = \frac{Q_t}{V_D} - \frac{3K}{4V_D} \left(\frac{V_D^2}{a_{set_ac}} + \frac{V_D^2}{a_{set_de}} \right) + \frac{3K}{2} \left(\frac{V_D}{a_{set_ac}} + \frac{V_D}{a_{set_de}} \right) \quad (13)$$

4 结果与分析

为检验三次多项式加减速控制算法的有效性, 实验选取分段速控制、PID 控制、模糊 PID 控制和三次多项式加减速控制四种算法, 在完全相同的实验条件下对单个下药口进行实验测试。系统设定最大加速度 $a_{set_ac} = a_{set_de} = a_{set} = 3\,000 \text{ mm/s}^2$, 设定主轴每转一圈的下药量为 0.005 g , 主轴转速为 $V_{set} = 3\,000 \text{ r/min}$, 扫描周期为 10 ms 。对单台下药电机进行实时速度采集, 获得的减速段速度曲线图形如图 4 所示:

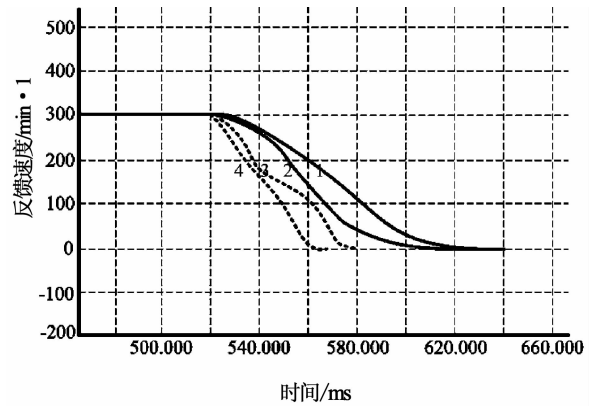


图 4 两种算法的速度对比图形

Fig. 4 The feeding and proportioning speed comparison between two algorithms

图 4 中曲线 1 是模糊 PID 算法反馈的实际速度, 曲线 2 是三次多项式加减速算法反馈的实际速度, 虚线 3 是模糊 PID 算法规划的速度, 虚线 4 是三次多项式加减速算法规划的速度; 对比图中各条曲线, 可以看出三次多项式加减速控制方法比模糊 PID 算法的变速时间快, 从而使得给药系统加减速运行时间少, 可以满足高精度下药的要求。

对于分段速控制、PID 控制、模糊 PID 控制和三次多项式加减速控制 4 种算法实现的单口下药情况对比如表 1 所示:

表 1 不同算法下的下药情况对比表
Tab. 1 The dosage comparison among different algorithms

算法	设定给药量/g	实际给药量/g	运行时间/s	实验误差/%
分段速控制	10.000	10.894	42.05	8.94
PID 控制	10.000	10.571	35.35	5.71
模糊 PID 控制	10.000	10.016	28.77	1.60
三次多项式加减速控制	10.000	10.005	21.25	0.50

由表 1 可见分段速控制和三次多项式加减速控制运行速度较快,但分段速控制精度很差;而 PID 控制和模糊 PID 控制均牺牲了一部分给药时间来提高系统给药精度,模糊 PID 控制相对实现的精度更高,基本满足设计需求;而纵观表 1,不难发现设计所选用的三次多项式加减速控制算法所实现的精度最高,效率也最好,能够准确、快速且稳定地实现给药过程。经过实践证明,此算法确实有比较好的实用性,是一种值得在称重领域推广的好算法。

5 结论

中华传统医药的发展面临着前所未有的挑战,而传统中医药要想获得世界的认可,则必须获得稳定的药性。本文在中药单一药剂粉剂发展的

基础上,实现了中药粉剂配方远程管理控制系统。文中给出了远程控制系统架构和系统的控制流程;为了满足称重系统对于给药量的高精度控制需求,本文重点研究了提高下药电机的进给速度和平稳性的方法。

研究使用三次多项式加减速算法代替传统的多种控制算法,使算法和程序的实现更简便,减少了加减速所耗时间和 CPU 运算的时间,进而提高了下药电机的运行速度和效率;由于三次多项式加减速算法的加速度和加加速度都连续,算法对减小下药系统的稳定误差有较好的效果,提高了系统的给药精度。由于系统仅提供 18 个下料口,而常用的中药就有上百种,所以如何快速、有效地更换并识别下料仓的药剂是本系统今后亟待需要解决的问题。

参考文献:

[1] 张立煌,李杰. 中药现代化的现状及发展趋势[J]. 浙江大学学报:医学版,2011,40(4):349-353.
[2] 肖培根,肖小河. 21 世纪与中药现代化[J]. 中国中药杂志,2000,25(2):67-70.
[3] 刘全玺,卢佩,李智辉. 基于数据协调的复杂配方生产控制的研究[J]. 仪器仪表学报,2009,30(10):326-329.
[4] He Jun, You You-peng, Chen Hao. A fast nested look-ahead algorithm with S-shape acceleration and deceleration[J]. Acta Aeronautica Et Astronartica Sinica,2010,31(4):842-851.
[5] 章晶. 实现多轴数控高性能加工的控制方法研究[D]. 广州:广东工业大学,2013,28-35.
[6] 张碧陶,高伟强,沈列,等. S 曲线加减速控制新算法的研究[J]. 机床与液压,2009,37(10):27-29.
[7] 江小云. 计算机智能技术在切削参数优化中的应用[J]. 福建工程学院学报,2013,11(6):573-577.

(责任编辑:肖锡湘)