

基于分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制在混合自动定量给料器中的研究

刘 韬^{1, 2, 3}, 李桂叶¹

(1. 湖北大学 资源环境学院, 武汉 430062; 2. 区域开发与环境影响湖北省重点实验室, 武汉 430062;

3. 湖北省生物资源绿色转化协同创新中心, 武汉 430062)

摘要: 目的 针对常规 PID 控制难以满足混合式定量给料包装控制系统的控制精度、稳定性和抗干扰能力等; 在传统 PID 控制的基础上, 利用分数阶理论将传统整数阶 PID 控制推广到分数阶领域中, 提出了分数阶 PID 控制器, 实现有点到面的控制; 相较于传统 PID 控制多了两个参数的自由度, 并采用一种间接算法 (Oustaloup 算法) 实现; 并将该控制与常规控制作对比; 建立混合式定量给料包装控制系统的 Simulink 仿真模型, 相对于传统 PID 控制, 分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制的设定值跟踪及抗干扰性能更优; 通过 Matlab 仿真结果表明, 分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制提高了控制定量精度, 并有效地改善控制系统的稳定性和抗干扰能力, 具有一定的推广价值和实效性。

关键词: 混合式自动定量; PID 控制; Oustaloup 算法; 分数阶 PID 控制

Application Research of Fractional Order $PI^{\lambda}D^{\mu}$ Control in a Mix Automatic Ration Feeder

Liu Tao^{1, 2, 3}, Li Guiye¹

(1. Faculty of Resources and Environmental Sciences, Hubei University, Wuhan 430062, China;

2. Hubei Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response, Wuhan 430062, China;

3. Hubei Collaborative Innovation Center for Green Transformation of Bio-Resources, Wuhan 430062, China)

Abstract: For conventional PID control, it is difficult to meet the control accuracy, stability and anti-interference ability of the hybrid quantitative feed packaging control system. On the basis of traditional PID control, the fractional order theory is used to extend the traditional integer order PID control to the fractional order domain, and the fractional order PID controller is proposed to realize the control of the point to face. Compared with the traditional PID control, the degree of freedom of two parameters is increased, and an indirect algorithm (Oustaloup algorithm) is used to realize the degree of freedom. The control is compared with the conventional control. The Simulink simulation model of the hybrid quantitative feeding packaging control system is established. Compared with the traditional PID control, the setting value tracking and anti-interference performance of the fractional order $PI^{\lambda}D^{\mu}$ control are better. The Matlab simulation results show that the fractional order $PI^{\lambda}D^{\mu}$ control can improve the control accuracy, and effectively improve the stability and anti-interference ability of the control system, which has certain promotional value and effectiveness.

Keywords: mix automatic ration; PID control; oustaloup algorithm; fractional order PID control

0 引言

目前国内对于产品包装大多采用手工定量充填, 为了解决粉粒状物料高速度、高准确度自动定量充填包装技术, 减少有毒有害的粉尘对人体伤害严重, 无人化包装将具有十分广阔的前景和意义^[1]。为了实现产品包装的自动化, 将一些自动化技术应用到包装工程里, 取代目前常用的人工包装技术。其中, 按定量原理主要有容积式和称重式两种自动定量充填, 分别适用于不同物料属性。其中, 容积式自动定量充填主要依据容积来计算填充物料的数量, 其结构简单, 成本也低。但是容积式自动定量的计量精度受很多因素影响^[2], 主要有物料颗粒的大

小, 结构, 容器容积等; 相反, 称重式自动定量充填的原理是依据其重量来计算填充物料的个数, 他最大的优点是不像容积式那样受物料特性的影响, 所以其具有高精度和良好的通用性。但是缺点就是不仅包装速度偏低, 而且成本高, 结构复杂等^[3]。

对比以上两种常见的定量技术, 其各有优缺点, 它们在单独应用时都无法同时兼顾其定量的速度和精准度。因此, 在面对现代大批量高速度和精度的包装时, 将无法满足要求^[4]。为了克服和解决这个难题, 本文在参考和借鉴国外的先进的自动定量方法, 它将微机技术与其相融合, 同时为了将容积式和称重式定量技术各自的优点相结合, 提出了用微机技术控制的混合式自动定量充填法, 满足了在自动定量充填时对速度和精度的高要求。同时, 为了提高和改善混合式充填法中加料过程的精度, 稳定性和可控性等方面的性能时, 引入一些控制算法。

目前, 针对混合式定量给料包装控制系统大多采用传统的

收稿日期: 2018-01-10; 修回日期: 2018-02-02。

基金项目: 湖北省自然科学基金项目(2015CFB704); 湖北大学校教改项目(201659)。

作者简介: 刘 韬(1980-), 男, 博士, 讲师, 主要从事 GIS 二次开发、空间数据分析、遥感考古方向的研究。

PID 控制, 由于传统的 PID 控制自身的局限性, 因此在利用传统的控制算法对混合式定量给料包装控制系统就很难获得令人满意的控制效果和性能。本文先在分数阶微积分理论的基础上, 将其理论应用在传统的 PID 控制系统中与其相结合, 提出了分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制器, 通过分数阶积分阶次和微分阶次的引入, 使得分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制器不仅保留了传统 PID 控制的优点, 还具有传统 PID 不具备的长处, 实现由点到面的控制, 扩大了控制的范围。因此, 利用分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制对其进行控制, 从而达到令人满意的效果。最后, 通过理论分析和仿真结果表明, 分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 比传统 PID 控制具有更加优良的动、静态性能指标。

1 混合式自动定量充填原理及过程

1.1 工作原理

混合式充填继承了传统定量的各自优点, 整个充填过程与称重式自动定量充填相同, 其基本结构如图 1 所示^[5]。从图 1 中可以知道, 混合式包装系统有机械部分的料仓, 粗细给料管/器, 包装机和控制部分传感器等设备组成。其充填原理是在微机技术的控制下, 为了提高混合式自动定量技术在速度方面的优势, 首先进行快加料, 将大部分的目标物量利用具有快速定量的容积式技术, 由粗给料器将物料从料仓送到称重料斗上, 然后进行慢加料, 在完成快加料后计算出剩余的小部分目标量, 并进行转换计算出通过细加料管给料时所用的时间, 完成慢加料; 最后, 将称重料斗中经过快加料和慢加料中的总量投入包装机进行包装, 完成一整个包装过程^[6-7]。

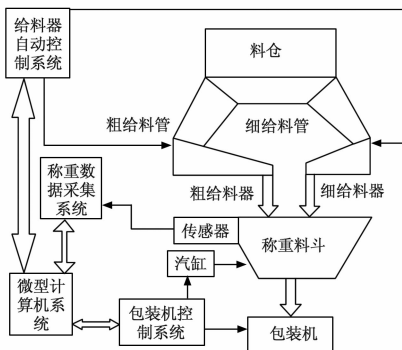


图 1 混合式自动定量充填原理示意图

1.2 工艺流程

通过以上分析可以看出, 混合式自动定量包装工艺只是由两个部分组成: 一是自动定量, 二是包装。在一个过程中, 包装和自动定量是同时进行的, 提高包装的速度。混合式定量过程流程如图 2 所示^[8]: 一般, 混合式加料需要有 4 个步骤: 分别是快加料、称质量、慢加料和放料^[9]。

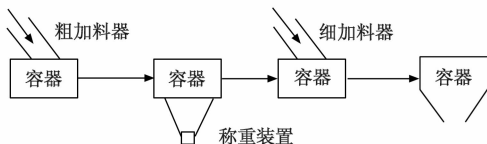


图 2 混合式定量加料过程图

由图 2 的简化过程可知, 完成整个加料过程需要以上的四个步骤组加料器完成物料的快速加料, 节约大量时间, 其快速

性也就体现在这个过程, 然后完成定量, 根据差值, 进行细加料, 完成定量的精度, 最后进行包装, 包装过程中, 上面的步骤仍在继续, 完成整个工艺流程。

2 混合式定量加料过程分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制

2.1 传统整数阶 PID 控制算法

传统的整数阶 PID 控制器因结构简单, 操作方便, 鲁棒性较强等优点的而被广泛应用在各行各业^[8]。它是从经典控制理论中推出来的一种控制算法, 其应用广泛的另一个原因是当被控对象模型不精确或难以建立的时候, 通过调节 PID 控制器的参数时都能够获得较好的指标。也就是说 PID 控制器的作用与被控对象的输入—输出模型没有任何关系, 它最大的特点就是利用偏差通过比例—积分—微分系数的简单线性组合就可以使系统的这种偏离回归到设定值上。人们只要选择 PID 增益使闭环稳定, 就能获得良好的静态指标。以输出值 $y(t)$ 与设定值 $r(t)$ 之间的差值 $e(t)$ 作为输入量, 可以描述为:

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$

PID 控制方法的控制规律可以用描述为:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{K_i} \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

也可以将上式写成传递函数的数学形式:

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{K_i s} + K_d s \right) \quad (3)$$

式中, K_p 为比例系数; K_i 为积分时间常数; K_d 为微分时间常数。

针对 PID 参数的确定本文采用的是传统方法, 即 Z-N 临界比例度法并在以上整定值附近利用经验试凑法观察各控制指标对性能的改变情况, 经过多次试验后, 当出现较好的控制系统性能时, 记录下相关数据。其中, Z-N 法在设计时将 $K_i = 0$ 、 $K_d = 0$, 即系统中不存在积分和微分。此时, 我们通过试探给出比例系数, 通过运行和观察系统在阶跃输入下的响应, 当发现曲线即将要出现振荡时, 观察此时的比例系数, 并将该状态下的常数叫做临界增益, 记为 K_u , 与之对应的临界振荡周期为 T_u 。通过以上两个参数, 由经验公式得出常规 PID 控制器的比例系数、积分系数和微分系数。需要注意的是, 比例、积分、微分系数的调整是相互影响的, 例如, 设置适当的比例系数后, 加入积分环节会导致响应曲线的超调量变大, 应当适当减少比例系数。所以几个参数需要一点点逐步调整, 直到系统的响应曲线达到最佳状态为止。

2.2 分数阶控制理论

随着工业社会的发展, 被控对象也变得越来越复杂, 精度要求越来越高传统的整数阶 PID 控制将很难满足工业生产的要求, 其弊端也越来越凸显。为了保留传统整数阶 PID 控制器结构简单, 鲁棒性强等优点的同时又具备传统 PID 控制不具备的长处—控制精度等。在经过控制理论不断发展后, 人们越来越多的开始关注分数阶理论。分数阶微积分它可以看作是传统 PID 控制的推广, 因为他打破了传统 PID 控制阶次的整数意义, 并将其设置为任何值 (实数或者复数等)。目前, 其常用的的定义有三种。分别是 Grunwal—Letnikov 定义、Riemann—Liouville 定义和 Caputo 定义等。其中, 定义其微积分算子如下:

$${}_a D_t^\alpha = \begin{cases} \frac{d^\alpha}{dt^\alpha} & \text{Re}(\alpha) > 0 \\ 1 & \text{Re}(\alpha) = 0 \\ \int_a^t (d\tau)^{-\alpha} & \text{Re}(\alpha) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中, ${}_a D_t^\alpha$ 为函数 $f(t)$ 的 α 次积分或微分; α 为其值大于零为分数阶的微分, 相反小于零为分数阶的积分; a 为下限值; t 为上限值。

2.3 分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制

通过以上分数阶理论的分析, Podlubny 教授与 1999 年提出了分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器的基本结构。将分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器与原本的 PID 控制器对比, 多出了 2 个参数积分阶次 λ 和微分阶次 μ , 且可以不间断地转化它们的属性, 正因为比传统整数阶 PID 控制多了 2 个参数, 所以, 该控制器可通过扩大参数整定范围, 能够获得更优良的控制性能。某种意义上看, 其控制的性能、范围都将有很大的改变, 分数阶控制算法对误差的处理不再是简单的线性加权, 而是一种非线性控制^[6]。分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 从一定程度上, 可看做广义化的整数阶 PID。典型的分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器, 结构如图 3 所示。

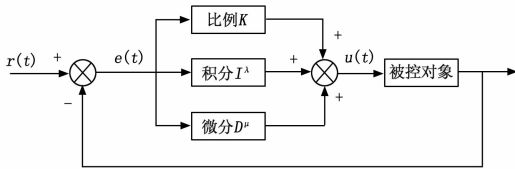


图 3 分数阶 PID 控制器的结构框图

与传统整数阶 PID 控制类似, 分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器的微分方程可写为:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i D^{-\lambda} e(t) + K_d D^\mu e(t) \quad (5)$$

式中, λ 积分阶次; μ 微分阶次; $e(t) = r(t) - y(t)$ 为控制器输入; $u(t)$ 控制器输出。

参数 λ 和 μ 取值范围较广, 可以为实数, 也可以为无理数, 甚至为复数。一般的应用中, λ 和 μ 取实数, 范围为 $[0, 2]$ 。 K_p 、 K_i 、 K_d 定义同整数阶一样, 为控制器特有的 3 个变量。在分数阶理论定义的基础上, 设计了分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器。它可以认为是常规 PID 控制器发展与推广, 其设计过程既与常规 PID 类似但也有区别, 只不过它有 5 个可调参数 K_p 、 K_i 、 K_d 、 λ 和 μ 。其中, λ 和 μ 是分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器所特有的参数, 对上述时域表达式 (5) 进行 Laplace 转化, 可得到分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器的传递函数如下式:

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s^\lambda} + K_d s^\mu \quad (6)$$

由于分数阶积分环节的引入, 能够很好地改善整数积分环节导致闭环响应速度缓慢, 调节时间长, 容易产生振荡, 积分饱和和引起的控制量饱和等负面影响。由式 (6) 可以看出, 分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器的积分项与传统的 PID 控制器的积分项相比, 从 s 变成 s^λ , 对应的变化是在相频对数图中其斜率不再是个固定值 -20 dB/dec, 而是变成了随着积分阶次 λ 的值而变化, 即 -20λ dB/dec。对式 (5) 进行离散化处理, 则分数阶

PID 控制器的离散化形式为:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i h^\lambda \sum_{j=0}^k q_j e(k-j) + K_d h^{-\mu} \sum_{j=0}^k d_j e(k-j) \quad (7)$$

式中, $e(k) = r(k) - y(k)$, q_j 和 d_j 为积分算子和微分算子, 它可由递推公式计算^[7]:

$$q_0^{(\lambda)} = 1; q_j^{(\lambda)} = (1 - \frac{1+\lambda}{j}) q_{j-1}^{(\lambda)}, j = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

$$d_0^{(\mu)} = 1; d_j^{(\mu)} = (1 - \frac{1-\mu}{j}) d_{j-1}^{(\mu)}, j = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

式 (6) 中, 取 $\lambda = 0, \mu = 0$, 变成比例控制器 P。 $\lambda = 1, \mu = 0$, 即为比例积分控制器 PI。当 $\lambda = 0, \mu = 1$ 时, 即为比例微分控制 PD。当 $\lambda = 1, \mu = 1$ 时, 即为整数阶 PID 控制器。如此看, 若有数学语言描述, 整数阶的 4 个状态, 都属于分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器。整数阶 PID 只是几个特定的点可以取。

通过以上对分数阶理论的分析可知, 分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器可认为是传统的整数阶 PID 控制器的广义表达式。通过将分数阶理论与传统的整数阶 PID 控制器相结合, 能够提升传统整数阶 PID 控制器的性能, 更加的丰富了其控制器的意义。与传统整数阶 PID 控制器不同, 正由于增加了积分系数和微分系数这两个参数实现了传统整数阶 PID 控制由点到面推广, 虽然分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器的结构相比较为复杂, 然而由于参数选择更加随意, 反而多了一些灵活性。分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器可以根据不同的对象, 不同的需求, 选择合适的 λ 和 μ 的值, 可接受范围更广, 多方面进行调节, 达到理想控制。正是因为如此, 它极大的提高了控制器的自由度和灵活的, 改善了传统 PID 控制器的性能指标。

2.4 Oustaloup 滤波算法

分数阶系统与整数阶系统不一样, 对其研究必须采取不一样的方法, 由于分数阶维数的无限, 我们要想设计其控制器, 对分数阶必须近似处理。目前, 对分数阶系统的近似化方法有很多, 例如, 直接近似化的幂级数离散近似法、连分式离散近似法和 Muir 递归近似法等; 间接算法的连分式近似、Carlson 近似方法和 oustaloup 近似方法等。在以上所有的近似算法中其近似结果都不是很好, 效果较好的只有 oustaloup 近似方法。为了实现分数阶控制, 本章采用 Oustaloup 近似算法以及改进算法^[7]。

首先通过选择一个拟合频率段, 频率下限为 ω_b , 上限为 ω_h , 然后构造一个不间断的滤波器模型, 如式 (10) 所示:

$$G_f(s) = K \sum_{k=-N}^{k=N} \frac{s + \omega'_k}{s + \omega_k} \quad (10)$$

式中的零极点和增益可由下式求出:

$$\omega'_k = \omega_b \left(\frac{\omega_h}{\omega_b} \right)^{\frac{k+N+0.5(1-\alpha)}{2N+1}} \quad (11)$$

$$\omega_k = \omega_b \left(\frac{\omega_h}{\omega_b} \right)^{\frac{k+N+0.5(1+\alpha)}{2N+1}} \quad (12)$$

$$K = \omega_b^\alpha \quad (13)$$

式中, ω 为滤波器的近似频率, ω_b 为其频率的下限, ω_h 为其频率的上限; α 为微积分的阶次; N 为滤波器的阶次; s 为拉普拉斯算子, $s = j\omega$, j 为虚数单位。

由于该算法在近似频率两端的近似效果不是很理想, 故参考了文献 [7] 提出的改进算法, 该算法是将分数阶算子用分数阶传递函数近似:

$$C(s) = \frac{1 + \frac{s}{\frac{d}{b}\omega_b}}{1 + \frac{s}{\frac{d}{b}\omega_h}} \quad (14)$$

在频率段内 $\omega_b < \omega < \omega_h$ 用 Taylor 级数展开, 并取一阶近似, 得到如下式子:

$$s^{\alpha} = \left(\frac{d\omega_b}{b}\right) \left(\frac{ds^2 + d\omega_h s}{d(1-\alpha)s^2 + b\omega_h s + da}\right) C(s) \quad (15)$$

联合式 (11) 和式 (12) 可以得到如下微积分的近似公式:

$$s^{\alpha} = \left(\frac{d\omega_b}{b}\right) \left(\frac{ds^2 + d\omega_h s}{d(1-\alpha)s^2 + b\omega_h s + da}\right) \prod_{k=-N}^N \frac{1 + \frac{s}{\omega_k}}{1 + \frac{s}{\tau_k}} \quad (16)$$

式中, α 为微积分阶次, $0 < \alpha < 2$; s 为拉普拉斯算子, $s = j\omega$, j 为虚数单位, ω 为滤波器的近似频率; b 、 d 为常数, 均大于 0。

这样作出的改进, 可取得更好的边界拟合效果和整体拟合效果。

2.5 分数阶滤波器构造

首先利用 Matlab 仿真软件中 Simulink 系统搭建分数阶滤波器。将改进的 oustaloup 算法采用 Simulink 子系统的封装功能封装成一个模块, 为了避免在仿真的过程中出现代数环, 在微积分算子后面串联一个带宽为 ω_2 的低通滤波器, 构造出的模块如图 4 和图 5 所示。

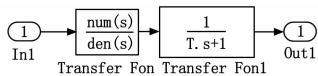


图 4 分数阶滤波器

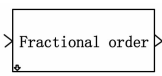


图 5 分数阶滤波器封装模块

2.6 参数的影响

分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制器共有 5 个参数, 分别是比例系数 K_p 、积分系数 K_i 、微分系数 K_d 、积分阶次 λ 和微分阶次 μ 。其中, 比例、积分、微分系数与传统整数阶 PID 控制器意义和对系统性能指标的影响一样。比例系数 K_p 可以加快系统的响应速度, 提高控制系统的准确性; 积分系数 K_i 过大系统将不稳定, 过小将造成振荡次数较多, 响应变缓, 调节不足等; 微分系数 K_d 可以减小稳态误差, 提高控制系统的精度等。积分阶次 λ 增大, 可减小系统的稳态误差, 同时减小超调量等, 但响应速度不变, 减小, 则引起调节时间增长, 稳态精度降低等; 微分阶次 μ 在一定范围内增大, 可以使系统超调随之减小, 调节时间缩短, 响应速度加快, 稳态精度提高等, 减小, 可能使系统振荡加剧, 调节时间变长, 甚至引起系统发散^[9]。因此, 分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制器的参数因选取合适参数, 才能得到理想的效果。

3 系统仿真及结果分析

利用 Matlab/Simulink 仿真软件, 搭建基于分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制器的混合式定量给料包装控制系统仿真模型, 对于混合式

定量给料包装控制系统的动态特性参考文献 [4] 所示:

$$G(s) = \frac{2.5}{20s + 1} \quad (17)$$

根据以上有关的分数阶理论与计算分析可知, 首先在 Matlab/Simulink 里建立分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制器, 并按照图 4 和图 5 构造出一个低通滤波器, 然后完成了分数阶微积分算子构造并封装。最后根据传统 PID 控制器的结构, 加入微积分系数, 构造出分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制器。与传统 PID 控制器相比而且, 分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制器多出了两个参数, 即积分阶次和微分阶次。本文针对混合式定量给料包装控制系统的动态特性, 取 $\lambda=0.26965$, $\mu=0.69006$; Oustaloup 滤波器近似频率范围的上下限分别是, $\omega_b=0.001$, $\omega_h=1000$; $N=5$ 。混合式定量给料包装控制系统的 Matlab/Simulink 的仿真原理如图 6 所示。

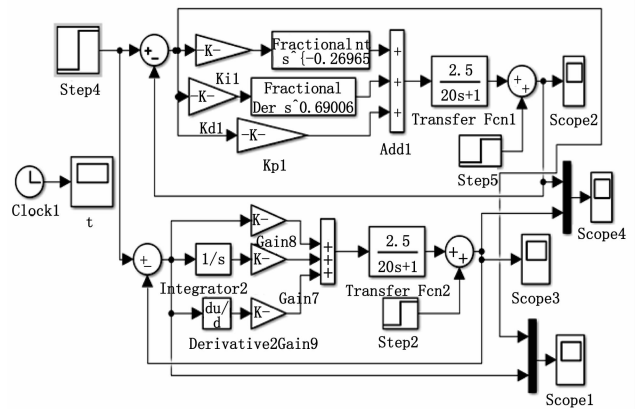


图 6 仿真原理图

对于图 6 所示的混合式定量给料包装控制系统, 分别采用传统的 PID 控制和本文的控制方法 (分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制) 进行对比分析。通过对混合式定量给料包装控制系统的实际仿真结果可以明显看出经过分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制与常规 PID 控制相比, 其超调量减小, 而且调节时间、峰值时间和上升时间等都明显缩短, 稳态误差较小, 控制精度较高, 不仅具有较好的动态响应性能还有较强的扰动抑制能力, 能够提高混合式定量给料包装的控制性能。其单位阶跃响应曲线和误差变化曲线如图 7 和图 8 所示。

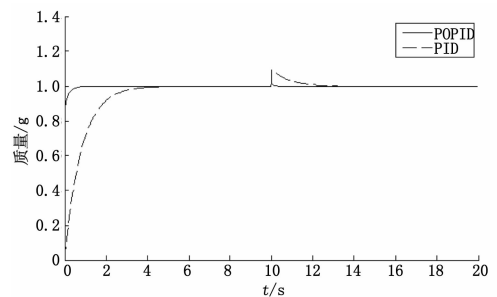


图 7 系统阶跃响应

从仿真结果的变化曲线中可以看出分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制的响应速度更快, 需要 0.96 s 就能稳定, 而传统的 PID 控制需要 6.98 s 稳定。为验证分数阶 $PI^{\lambda}D^{\mu}$ 控制器在混合式定量给料包装

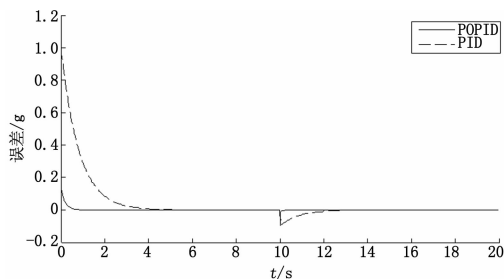


图 8 系统误差变化曲线

控制系统中的抗干扰能力，在仿真时间 $t=10\text{ s}$ 时加入幅值为 0.1 的阶跃负载，来模拟混合式定量给料包装过程中所受到的干扰，分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制在受到以上干扰时，超调量比传统 PID 控制器的超调量小，能够在 0.62 s 恢复稳定，而传统 PID 控制需要 6.18 s 恢复稳定，因此，分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器受负载的影响较小。综上所述，无论跟踪性还是抗干扰能力，分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制都要比传统的 PID 控制更加优良、控制精度也更加好。

4 结论

针对容积式和称重式的粉粒状物料自动定量充填包装的各自的不足，提出了混合式充填法，它解决了自动定量充填方面无论在速度和准确度不能兼顾的矛盾。并通过分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制对其加料过程进行控制，克服了传统 PID 控制在称重过程加

料精度、稳定性和可控性方面的不足。分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 的能够实现由点到面的精准控制，能够对混合式定量给料包装控制系统进行有效控制，在一定程度上兼顾了系统的动、静态性能，克服了传统 PID 控制器参数难以确定的缺点。

参考文献:

[1] 张西良, 路欣, 毛翠云. 粉粒状物料混合式定量充填技术研究 [J]. 计量学报, 2003 (4): 310-313.
 [2] 陆焯, 袁梦, 余勃. 基于模糊 PID 控制在混合自动定量给料器中应用的研究 [J]. 包装工程, 2008 (6): 14-16+20.
 [3] 张西良, 毛翠云, 路欣. 粉粒状农产品混合式自动定量包装研究 [J]. 农业工程学报, 2003 (2): 121-125.
 [4] 余勃, 张西良. 混合式定量加料过程的 PID-模糊控制 [J]. 包装工程, 2003, (6): 12-14+18.
 [5] 王丽琴, 邓志辉, 张西良. 混合式定量控制实验系统的设计 [J]. 农机化研究, 2009, 31 (12): 89-92.
 [6] 熊兼海, 张卫, 柳宁. 分数阶模糊免疫 PID 控制器的设计 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52 (18): 235-239.
 [7] 钱晓颖. 分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制及其应用研究 [D]. 南京: 东南大学, 2016.
 [8] 杨世勇, 徐国林. 模糊控制与 PID 控制的对比及其复合控制 [J]. 自动化技术与应用, 2011, 30 (11): 21-25.
 [9] 严慧. 分数阶 $PI^\lambda D^\mu$ 控制器阶次变化对控制性能的影响 [J]. 金陵科技学院学报, 2008, 24 (4): 13-18.



图 5 实时监控页面



图 6 移动图像查看页面

检测到物体的大小。由于实验环境处于室内，所以将阈值选取为 1500，此时系统检测的目标大小正好适合人类。系统经过 100 次测试后发现，此时系统运动物体检测也不是 100% 正确的，会产生一定的漏检和误检，具体情况如下表 1 所示。

表 1 实验检测结果

测试次数	正确检测次数	漏检率	误检率
100	97	2%	1%

经过分析，发现漏检产生的因素主要是：运动物体偏小以及运动速度较快；运动物体颜色与背景颜色较接近以及室内光线偏暗。误检产生的原因主要是摄像头产生移动。

6 结束语

本文针对入室盗窃，非法入侵等违法行为，设计了一种移动图像监控系统。该系统不仅实现了传统的视频实时监控功

能，还实现了自动预警以及图像、视频保存功能，并且在图像内将移动物体通过方框标记出来，让用户更加容易辨识或者事后取证。整个系统具有体积小、功耗低、系统稳定，具有一定的智能性，拥有良好的应用前景。

参考文献:

[1] 蒋坤. 智能家居关键技术研究 [D]. 宁波: 宁波大学, 2015.
 [2] 苏凡江. 基于 Linux 的动态图像监控系统的设计与实现 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2012.
 [3] 黄凯奇, 陈晓棠, 康锋, 等. 智能视频监控技术综述 [J]. 计算机学报, 2015 (6): 1093-1118.
 [4] 杨耿, 和卫星. 运动目标图像识别与跟踪系统的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2005, 13 (3): 267-269.
 [5] 徐超. 三星与 Intrinsic 公司联手打造 ARM CORTEX-A8 处理器 [J]. 通信世界, 2009 (29).
 [6] 杨振, 徐爱钧, 吴子平. 基于 S3C6410 的图像采集与无线传输系统的设计 [J]. 电脑开发与应用, 2011, 24 (10): 20-22.
 [7] 刘丽. 嵌入式 WM8960 音频驱动及多线程播放器的设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
 [8] Curtis J W, Parks R A. Using the TP-LINK TL-WN722N on CentOS 6. 2 x86_64 [J]. 2015.
 [9] 宋宝华. Linux 设备驱动开发详解 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
 [10] 金勇. 基于 ARM9 的 Web 服务器 Boa 的软、硬件设计 [J]. 电子世界, 2013 (13): 83-84.
 [11] 黄高见, 陈名松. 基于 Linux Web 服务器的远程控制系统 [J]. 桂林电子科技大学学报, 2017, 37 (1): 25-30.