

doi: 10.7690/bgzdh.2020.09.008

改进增量式 PID 算法在物料分拣流水线中的应用

黄凤娇, 杨 雪, 许祥威

(南京工程学院创新创业学院, 南京 211167)

摘要: 为提高物料自动分拣流水线的效率以及分拣准确率, 研究改进增量式 PID 算法在物料分拣流水线中的应用。在经典增量式 PID 算法中引入积分分离算法和死区算法来调节直流电机的转速, 将改进算法运用于物料分拣流水线的实物模型中, 并与经典增量式 PID 算法进行对比实验。实验结果表明: 该改进算法有效可行, 控制效果明显优于经典增量式算法。

关键词: 增量式 PID; 积分分离; 死区; 粉料分拣

中图分类号: TP206 **文献标志码:** A

Application of Improved Incremental PID Algorithm in Material Sorting Pipeline

Huang Fengjiao, Yang Xue, Xu Xiangwei

(School of Innovation & Entrepreneurship, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: In order to improve the efficiency and accuracy of the automatic material sorting pipeline, the application of the improved incremental PID algorithm in the material sorting pipeline is studied. In the classical incremental PID algorithm, the integral separation algorithm and the dead zone algorithm are introduced to adjust the speed of DC motor. The improved algorithm is applied to the physical model of material sorting pipeline, and compared with the classical incremental PID algorithm. The results show that the improved algorithm is effective and feasible, and its control effect is obviously better than the classical incremental algorithm.

Keywords: incremental PID; integral separation; dead zone; powder sorting

0 引言

近几年我国的物流行业发展迅速, 分拣效率低下且错误率较高的人工分拣方式终将被智能分拣系统取代^[1-2]。为实现流水线上物料的自动分拣, 使得物料在有效的分拣格口流出, 必须精准控制流水线的速度。在工业制造控制中, 作为最经典的算法: PID 控制策略因结构简单、稳定性高、具有较高的可靠性等优点, 受到广泛应用。文献[3]介绍了 PID 控制器的设计方法, 说明 PID 控制是智能控制的一种最基础单元, 为后续研究提供参考; 文献[4]总结了先进的 PID 参数整定方法并介绍相应成果; 文献[5-7]对 PID 控制算法进行类比总结; 文献[8-10]将 PID 控制算法运用到不同的领域中去。笔者引入带积分分离和死区的增量式改进 PID 算法, 以控制直流减速电机的转速变化。

1 增量式 PID 算法

按偏差的比例、积分、微分进行控制的控制器称为 PID 控制器, 模拟 PID 控制器的原理如图 1^[11]

所示。

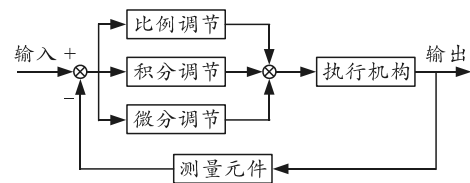


图 1 PID 控制系统原理

算法表达式如下:

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

其中: K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数; $u(t)$ 为控制系统的输出; $e(t)$ 为设定量与被控量的偏差, 作为控制系统的输入。

对式(1)的积分项采用矩形法, 微分项采用向后差分法, 离散化的公式为:

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad (2)$$

从上式可以看出: 积分项中保留了所有的偏差值, 会占用较大的内存, 给计算带来不便, 并且误

收稿日期: 2020-04-14; 修回日期: 2020-05-29

作者简介: 黄凤娇(1994—), 女, 江苏人, 硕士, 从事配电网负荷预测研究。E-mail: 876495018@qq.com。

差较大。用式(3)减去式(2)，得出增量式 PID 算法：

$$u(k-1) = K_p \left\{ e(k-1) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^{k-1} e(j) + T_D/T [e(k-1) - e(k-2)] \right\}; \quad (3)$$

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]. \quad (4)$$

增量式 PID 算法流程如图 2 所示。

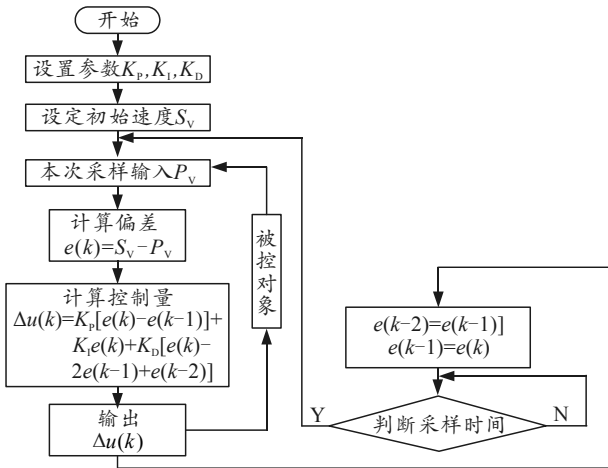


图 2 增量式 PID 算法流程

增量式 PID 算法具有以下优势^[7]：

1) 计算量仅与最近 3 次偏差采样值有关，只需要储存最近 3 次的偏差采样值，占用内存少，计算速度快、误差小。

2) 输出结果为控制量的增量，即执行机构的位置变化量；因此，故障影响范围较小。

3) 手动-自动切换时冲击小。当控制从手动向自动切换时，可以做到无扰动切换。

增量式 PID 算法也存在缺陷。例如积分截断效应大，有静态误差。在物料智能分拣流水线中，当物料通过摄像头时，传送带的速度不宜过快，且要保持稳定，才能使得物料上的铭牌信息被摄像头准确的采集到；当启动机械臂抓取分拣程序时，传送带需要实现降速来确保物料能被机械臂抓取成功；当启动主分拣程序时，物料在流水线上的路程最长，为了节约时间，传送带需要实现提速。为了确保在物料分拣流水线的整体工作效率，直流电机控制传送带的速度必须精准高效。下面对经典增量式 PID 算法进行改进。

2 改进增量式 PID 算法

2.1 积分分离

在 PID 控制中引入积分的主要目的是为了消除静态误差，提高控制精度，但也会增加系统的超调

量，降低系统的响应速度。有时候刚启动系统，要结束或者给定值变化幅度较大时，会出现大幅度的偏差，在积分作用下，短时间内就会积累大量的偏差，最终导致控制量超过执行机构的最大动作范围，使系统发生震荡。

为防止上述情况发生，当偏差值较小时，取消积分的作用，当偏差值较大时，再引入积分的作用，这样就有了积分分离的 PID 控制算法。

设定一个大于零的参考值 ε ，当偏差值 $|e(k)| \geq \varepsilon$ 时，取消积分作用，只进行 PD 控制；当偏差值 $|e(k)| < \varepsilon$ 时，再引入积分作用，进行 PID 控制，提高精度，确保系统运行的准确性。算法如下：

$$u(k) = K_p e(k) + \beta K_i \sum_{j=0}^k e(j) T + K_d (e(k) - e(k-1)) / T. \quad (5)$$

给经典 PID 算法的积分项添加开关系数 β ，开关系数的选择为：

$$\beta = \begin{cases} 1 & |e(k)| < \varepsilon \\ 0 & |e(k)| \geq \varepsilon \end{cases}. \quad (6)$$

2.2 带死区的 PID 算法

在物料分拣系统中，采用单片机作为主控制器，由于计算精度等问题，系统总是存在一定偏差，导致系统频繁动作，不稳定，并且执行机构的使用寿命会缩短。为了解决这个问题，引入带死区的 PID 算法，即设定一个死区参数 e_0 ，当偏差值小于设定的死区参数时，直接判定为没有偏差，这样就不进行控制调节，进入死区状态。

偏差值的公式为：

$$e(k) = \begin{cases} 0 & |e(k)| \leq e_0 \\ e(k) & |e(k)| > e_0 \end{cases}. \quad (7)$$

2.3 带积分分离和死区的改进增量式 PID 算法

经典增量式 PID 控制算法存在一定缺陷，而物料自动分拣系统需要对传送带的速度做到精准控制，才能使物料在经过摄像头时能够被准确高效地提取到铭牌信息，以及物料经过适当的分拣格口时被准确高效的送出流水线。为了满足物料分拣系统传送带的实际需求，既要求当设定值与检测值的偏差值较小时，执行机构保持原先的动作，防止动作频繁导致的使用寿命降低，又要求当偏差值过大时取消积分的作用，防止输出的控制量超过执行机构能动作的最大范围。笔者将积分分离的 PID 算法和带死区的 PID 控制算法结合到一起，提出带积分分

离和死区的改进增量式PID算法，并将它应用到物料自动分拣系统中。

改进PID算法的流程如图3所示。当偏差值小于设定的死区参数时，进入死区状态。当偏差值大于积分分离参考值，即 $|e(k)| \geq \varepsilon$ 时，取消积分作用，只进行PD控制。

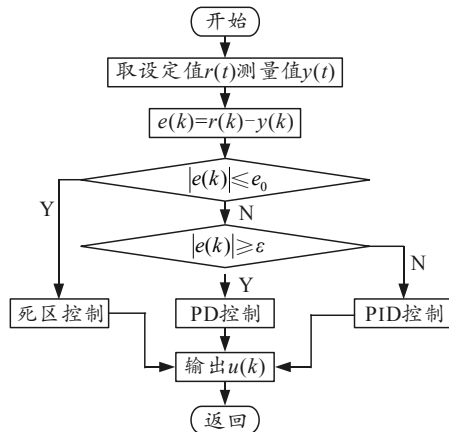


图3 改进PID算法的流程

3 改进PID算法在物料分拣流水线中的应用

物料自动分拣流水线的基本工作流程：物料送入流水线后，摄像头采集物料上的铭牌信息，发送到控制器，控制器根据物料信息将物料由不同的分拣格口送出流水线，与此同时，红外传感器检测物料在流水线的位置，主控制器根据物料的位置信息，来调节直流减速电机的速度。

传送带的速度调节在整个物料分拣系统中至关重要。在第一个信息采集环节，当物料经过摄像头时：如果传送带的速度过快，可能会导致铭牌信息没有办法被采集到，这个物料将无法由适当的分拣格口送出；如果速度过慢，则会导致物料在送件装置处的堆积，效率太低，无法体现自动分拣系统的优势。

笔者先将改进后的PID算法烧制到STM32单片机中，利用单片机控制直流减速电机，再由直流减速电机带动传送带。改进算法的目的是为了更加精准地控制传送带的速度，使整个物料自动分拣过程更加准确高效。实物如图4。

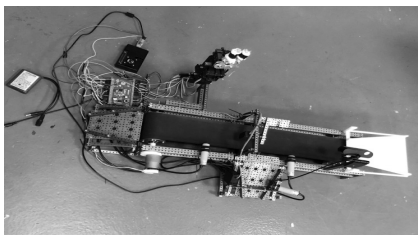


图4 物料分拣流水线实物

为了验证改进算法的优越性，笔者设置一个对比实验，模拟4种情况：

情况1，控制算法选用改进后的PID算法，物料贴上铭牌1，根据该2维码铭牌包含的信息，物料将由机械臂抓取送出流水线。

情况2，控制算法选用经典的增量式PID算法，与情况1同一个物料，同样的铭牌1。

情况3，控制算法选用改进后的PID算法，物料贴上铭牌2，根据该2维码铭牌包含的信息，物料将由侧推槽送出流水线。

情况4，控制算法选用经典的增量式PID算法，与情况3同一个物料，同样的铭牌2。

每种情况下，将物料送入流水线，直至物料离开流水线，重复实验100次。如果物料由对应的分拣格口送出流水线，则说明该次测试成功，物料铭牌信息被准确识别到，物料分拣程序成功启动，机械臂准确抓取到物体/侧推槽准确送出物体，即传送带精准调速。如果物料走完传送带全程，从主分拣格口离开流水线，则说明该次测试失败，传送带的速度调节并没有达到预期。

实验结果如表1所示。

表1 实验结果

不同情况	1	2	3	4
物料分拣成功率/%	0.92	0.75	0.95	0.82

由实验结果可知：使用改进PID算法的情况下，机械臂抓取物料的成功率明显大于使用经典增量式PID控制算法。同样地，侧推槽分拣的成功率也是使用改进PID算法的情况下更高。由此可见：带积分分离和死区的PID控制算法在物料自动分拣系统中是有效可行的，其控制效果也明显优于经典增量式PID算法。

4 结束语

笔者将积分分离PID算法和带死区的PID算法结合到经典增量式PID算法中，并将改进算法运用到物料自动分拣系统的实物模型中，用来更加精准地控制直流电机的转速。对比实验结果可以明显看出：改进算法的控制效果优于经典增量式算法，改进算法有效可行。但对比实验存在改进空间，例如机械臂本身的自由度、推槽舵机灵敏度对实验结果存在一定影响，后续可对实验进行改进。

参考文献：

- [1] 周继裕, 张坤忠, 许雪威, 等. 基于PID算法和STM32的分拣搬运机器人的设计[J]. 仪表技术与传感器,

2017(4): 122-12.

[2] 王晓梅. 推块式分拣机分拣系统的动力学理论与仿真[D]. 重庆: 重庆大学, 2002: 1-2.

[3] 吴宏鑫, 沈少萍. PID 控制的应用与理论依据[J]. 控制工程, 2003(1): 37-42.

[4] 王伟, 张晶涛, 柴天佑. PID 参数先进整定方法综述[J]. 自动化学报, 2000(3): 347-355.

[5] 王伟晨. 增量式 PID 和位置式 PID 算法的整定比较与研究[J]. 工业控制计算机, 2018, 31(5): 123-124.

[6] 谭加加, 刘鸿宇, 黄武, 等. PID 控制算法综述[J]. 电子世界, 2015(16): 78-79.

[7] 沈永福, 吴少军, 邓方林. 智能 PID 控制综述[J]. 工业

仪表与自动化装置, 2002(6): 11-13, 24.

[8] 李庆哲, 梁秀满, 刘振东, 等. 改进型增量式 PID 算法在 S7-200 中的程序实现[J]. 工业仪表与自动化装置, 2013(6): 29-31, 94.

[9] 徐海川, 张岳, 张鹤航, 等. 增量式 PID 控制算法在采暖智能控制系统中应用[J]. 辽宁科技学院学报, 2019, 21(1): 21-22, 61.

[10] 文波, 孟令军, 张晓春, 等. 基于增量式 PID 算法的水温自动控制器设计[J]. 仪表技术与传感器, 2015(12): 113-116.

[11] 陶永华. 新型 PID 控制及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 23-25.

(上接第 14 页)

系统级备件计算以及对比图结果表明: 作战指挥系统保障概率指标与实际误差 1.8%; 使用可用度指标与实际误差 3.5%; 利用率指标与实际误差 2.4%。航空保障系统保障概率指标与实际误差 10.2%; 使用可用度指标与实际误差 1.2%; 利用率指标与实际误差 6.5%。相较于传统备件保障计算方法, 上述指标误差分别为 11.6%、4.9%、33.1%、26.7%、2.9%和 5.4%。误差分析结果表明: 传统指标计算方法误差时大时小, 不能保证与实测值误差精度, 而从系统级思想计算备件相关指标, 误差基本低于 10%, 趋于稳定且误差较小。

算例结果表明: 传统制定备件保障方案是任务结束后才能统计得出指标数据, 利用解析计算方法可实现预先评估备件方案; 同时通过与传统方法进行比较, 系统级备件保障误差较小且趋于稳定, 适于预先评估, 提高备件保障效果。仿真计算结果验证了系统模型的有效性与优势性。

5 结论

笔者针对舰载机着舰引导系统, 提出系统级备件保障模型, 并通过算例对仿真算法进行验证。算例分析表明: 该方法能对备件保障概率、使用可用度以及利用率等关键指标随备件数量变化的情况进行准确描述, 优化了备件方案, 提高任务完成度与经济性; 提出的系统级备件保障指标计算方法结果与实际情况相符, 仿真结果优于传统方法, 验证了该方法的有效性与优势性, 可为预先制定合理的备件方案提供参考。

参考文献:

[1] ISAACSON K E, BOREN P. Dyna-METRIC Version 6: An advanced capability assessment model: R-4214-AF[R]. Santa Monica, CA: RND Corporation, 1993.

[2] LAU H C, CONG H, SEE T C, et al. Evaluation of timevarying availability in multi-echelon spare parts systems with passivation[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 170(1): 91-105.

[3] 周亮, 李庆民, 彭英武, 等. 串件拼修对策下 K/N(G) 结构系统可用度评估建模[J]. 航空学报, 2017(4): 123-132.

[4] 郭继周, 郭波, 张涛, 等. 地空导弹维修保障能力评估与备件优化模型[J]. 火力与指挥控制, 2008(3): 9-12.

[5] 任洋, 李华, 李庆民, 等. 多级可修备件库存的生灭过程建模与优化[J]. 国防科技大学学报, 2017(3): 111-120.

[7] 刘文浩, 鲁世红, 王伟. 基于可靠性数据的航材备件需求预测方法[J]. 航空计算技术, 2017(4): 53-56.

[8] SALMAN S, ASSADY C R, POHL E A, et al. Evaluating the impact of cannibalization on fleet performance[J]. Quality and Reliability Engineering International, 2007, 23(7): 97-104.

[9] 杨秉国, 李金国, 张义方, 等. 备件供应规划要求: GJB4355-2002[S]. 北京: 中国人民解放军总装备部, 2003.

[10] 邴诗松, 程依鸣, 濮晓龙. 概率论与数理统计教程[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2010: 69-72.

[11] 王玉龙, 金灿, 冉红亮, 等. 威布尔分布备件的蒙特卡罗模拟配置[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2018(1): 159-162.

[12] 张志华. 可靠性理论及工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 136-147.