

PID 调节简介

来源：湖南爱力

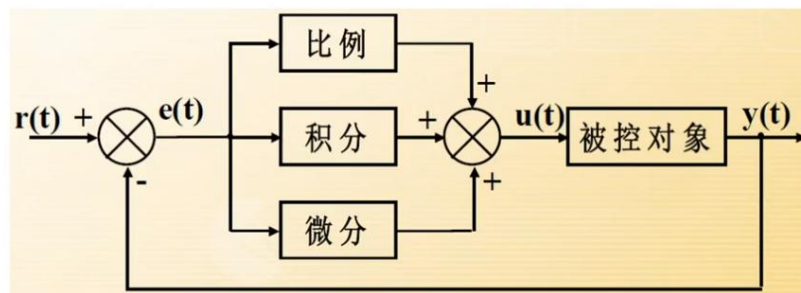
作者：赵宇威

1. PID 应用介绍

在介绍 PID 之前，可以联想一下在公司周年庆活动中，有同事用无人机给大家拍照，无人机是稳定的悬停在空中的一个固定的位置，无人机是悬停在天空中，他并不是一个静止的状态，而是一直在进行着 PID 的调节，使他的位置处于一个动态平衡，向上的升力时时刻刻在进行着调节，因为有重力的缘故，无人机识别到位置低于设定的位置，他的升力就需要上升一些，当无人机识别到位置高于设定的位置，则上升的力就需要小一些，这样给定一个位置，并且实时监测反馈位置并进行调节的过程，叫做 PID 调节（当然速度、扭矩等均可做 PID 调节）。

2. PID 调节基础介绍

- **PID**是比例、积分、微分的缩写，将偏差的比例（**P**）、积分（**I**）和微分（**D**）通过线性组合构成控制量，用这一控制量对被控对象进行控制，这样的控制器称**PID**控制器。
- **PID**(比例，积分，微分)功能块适用与闭环控制系统
- 该系统由模拟**PID** 控制器和被控对象组成。图中， $r(t)$ 是给定值， $y(t)$ 是系统的实际反馈值，给定值与实际反馈值构成控制偏差 $e(t)$ ， $e(t) = r(t) - y(t)$
- $e(t)$ 作为**PID** 控制器的输入， $u(t)$ 作为**PID** 控制器的输出。



切记 PID 一定是应用于闭环控制系统，PID 调节是对设定值与反馈值的偏差做比例、微分、积分计算后得到调节值，并应用于系统的调节当中，例如应用中，实际高度与设定高度的偏差即为 $e(t)$ ，经过 PID 调节以后得到的 $u(t)$ 需要作用于无人机，即 $u(t)$ 对应

的调节对象是无人机的升力。PID 的调节值 $u(t)$ 没有固定单位, 是根据实际情况设定 $u(t)$

的调节对象是执行机构的哪一种值。

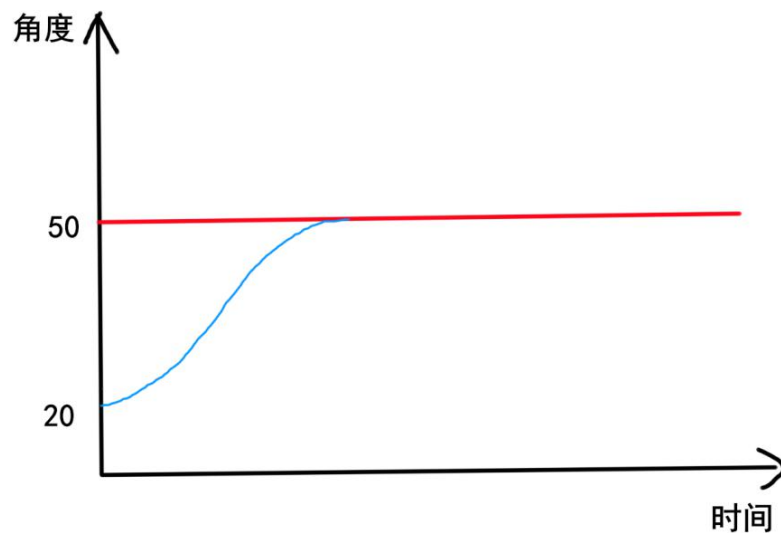
3. PID 公式

$$u(t) = K_P e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt}$$

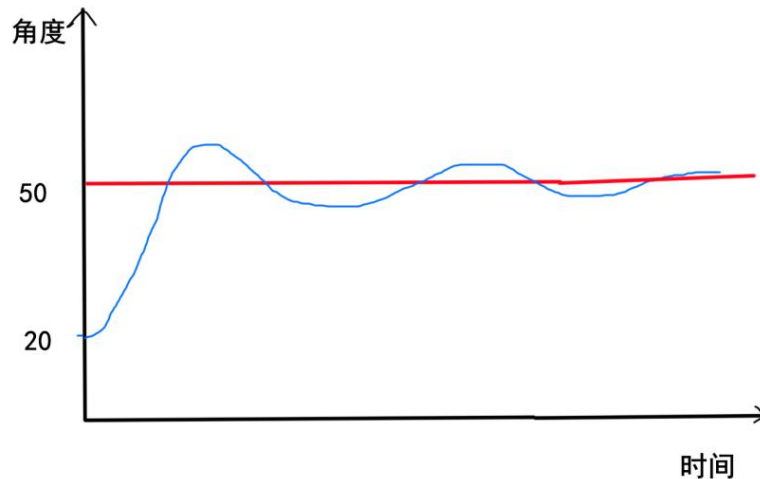
- 其中:
- $e(t)$ —— 控制偏差, 它等于给定值减去反馈值
- K_P —— 比例系数
- T_I —— 积分系数
- T_D —— 微分系数

PID 的调节值为三个值相加, 分别是比例值, 积分值, 微分值, 系数均为正值

例有一个可以识别角度的电机, 设定电机需要运动到的角度为 50 度, 电机当前实际角度为 20 度, 对其进行 PID 调节, PID 的理想调节值应该是如下图所示, 蓝线为从动机构的角度曲线, 从动机构追赶上主动机构, 理论上位置越接近, 速度越小。



但是实际上, 由于惯性及其他因素, 实际蓝线并不会刚好完美的与红线一致, 他会超过红线然后再返回形成波浪一般的曲线, 如下图。



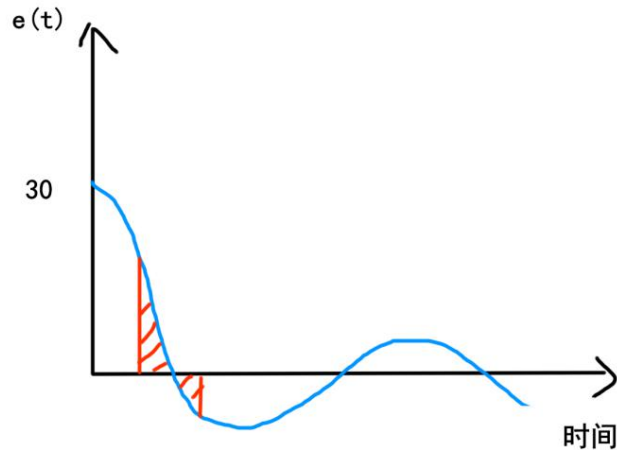
实际调节速度的很快，上述的图仅为了便于理解。

再重新看一下公式，PID 的调节值 $u(t)$ 是三个数相加，比例 积分 微分

$E(t)$ 为偏差值，比例值为 $K_p \cdot e(t)$ ，如题中的偏差值 $e(t) = 50 - \text{当前角度} = 30^\circ$ ，比例值即为 $30 \cdot K_p$ 。暂忽视积分与微分，当从动机构越接近 50 度时， $e(t)$ 约接近 0，比例值 $K_p \cdot e(t)$ 也越接近 0。当前角度大于 50 度的时候，偏差值与比例值也都小于 0，这里将比例值的调节对象设定为速度指令（注意这里的描述是当做速度值，比例值是没有单位定义的，这里只是人为的将比例值与速度关联，假设调速范围为 $0-100^\circ/s$ ，转角差超过 30° 需要达到最大转速，则 K_p 就应该为 3.33，因为人为将比例值的调节对象设定为速度，那也就是比例值的范围应该与速度一致，所以 $100 = K_p \cdot 30$ ， K_p 也就是 3.33），这样当前角度超过 50 度时候，速度为负值，没超过 50 度时速度为正值，且越接近 50 度时，速度越接近 0。

但是实际情况下，仅仅调节比例值是不够的，因为速度是不会突变的，当接近 50 度的时候，速度此时由于惯性等原因还是保持一个正值，要想让 PID 的输出值 $u(t)$ 变为如上图所示的波浪形，除了比例值还需要增加积分值，因为在从接近 50 度到超过 50 度的这一个小时段，从动机构速度依然是正值，对这一小段的偏差值 $e(t)$ 做积分，此时偏差的积分仍然是一个正值，如下图所示，所以即使超过了 50 度，比例值由正变负，

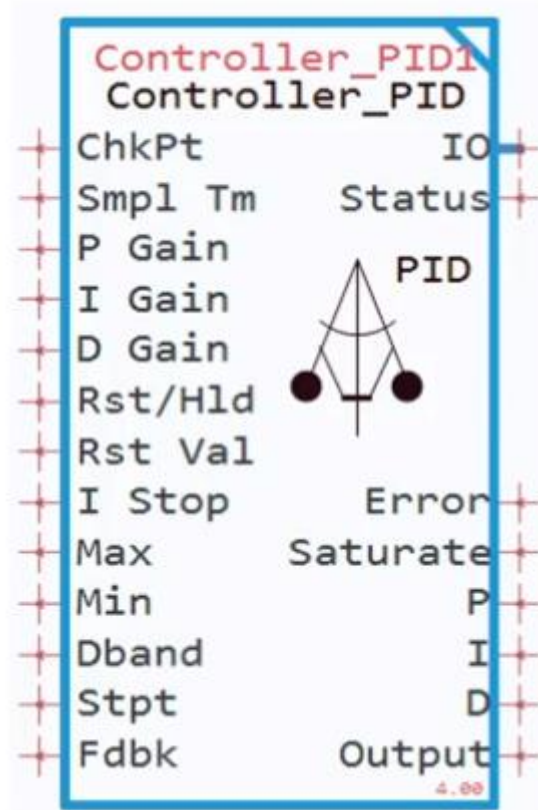
但是积分值仍然为正值，只是积分值会逐渐减小，即超过了 50 度之前，积分值是一直变大且为正数，比例值一直减小也为正数，超过 50 度的时候，比例值变为负数，积分值慢慢由正变负，这样会使 $u(t)$ 以波浪形式运动。比例值的影响大小与比例值系数有关。



微分值是对 $e(t)$ 求微分，PID 这三个调节参数，比例值可以认为是本身需要调节的值，积分值可以理解成根据过去的运动状态来调节比例值，微分值可以理解成对偏差值求导，预测未来。一般情况下不太用的到微分值，这里暂不赘述。

这里切记，PID 的调节值是经过公式计算后的值，不一定对应位置也不一定对应速度，他具体对应什么需要编程人员根据需求确定，本例子中我将 PID 的调节值作速度指令，根据比例系数与积分系数来讲 PID 的调节值转化为速度值。

4. PID 调节的参数



以丹佛斯控制器的 PID 模块进行举例

输入值:

P_Gain:比例系数, 单位千分之一

I_Gain:积分系数单位, 单位万分之一

D_Gain:微分系数, 单位百分之一, 不常用。

Smpl Tm: 采样周期, 一般取 50ms 即可

I_Stop:当误差值绝对值大于该值时候停止积分调节, 根据实际情况设定, 当偏差过大的时候, 就没必要进行积分调节了, 直接用比例值快速运动即可。

Max/Min:PID 调节值输出的极限值, 大于 MAX 或小于 MIN 时, 会以 MAX 或 MIN 进行输出,假如 PID 需要调节转速,转速范围是 0-1000,那 MAX 就是 1000,MIN 是-1000

Dband:偏差的容忍值, 偏差小于 Dband 时 PID 输出为 0, Dband 越小精度越高, PID 系数越难调。

Stpt:设定值

Fdbk:反馈值

输出值:

P:比例值, 经过比例计算后的值, 与比例系数和偏差值有关

I:积分值, 经过积分后的值, 与积分系数有关, 积分系数与偏差值不是正相关

D:微分值, 经过微分计算后的值, 不常用。

Output:P+I+D

Error:偏差值, 即设定值-反馈值。

5. PID 调节实例

实例中使用的设备: 手柄、MC024 控制器、电机*2、角度传感器*2

控制逻辑: 电机调速范围为 0-12V(对应控制器单位输出 0-5000), 角度传感器转一圈输出 1024 个脉冲, 最大支持检测正负 12 圈, 电机 A 由手柄进行操作, 手柄正向动到最大时候给电机 A 正转引脚输出 4000 (PID 中主动机构的最大速度一定要低于从动机构的最大速度), 反向动作最大的时候给电机 A 反转引脚输出 4000, 将电机 A 的角度作为设定值, 电机 B 的角度作为反馈值进行 PID 调节。

由于电机 B 的调速范围是 0-5000, 所以参数中设置 MAX 为 5000, MIN 为-5000.

Dband 设置为 10, 及百分之一圈的误差($1024 \times 0.01 = 10$ 取整)

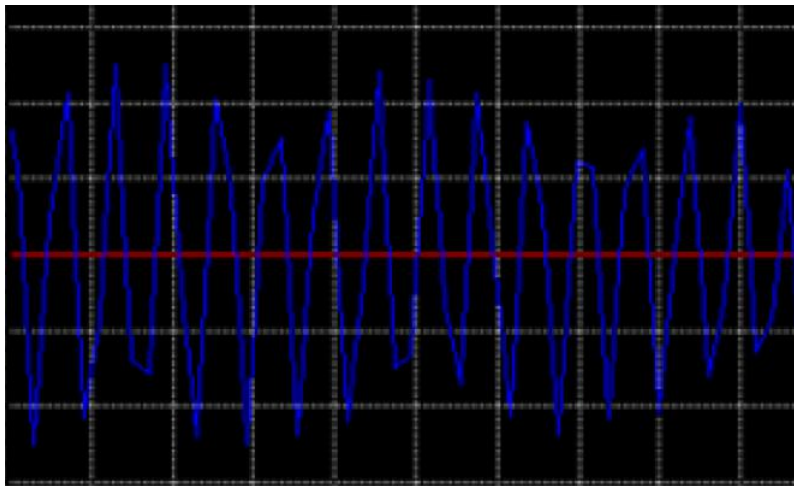
采样周期设置为 50ms

Istop 设置为 200, 即偏差大于 200 的时候, 不进行积分调节

调节的时候先调节 P_gain

当 P_{gain} 过小时，从动机构不会跟随运动，因为比例系数为 0 输出值也是 0

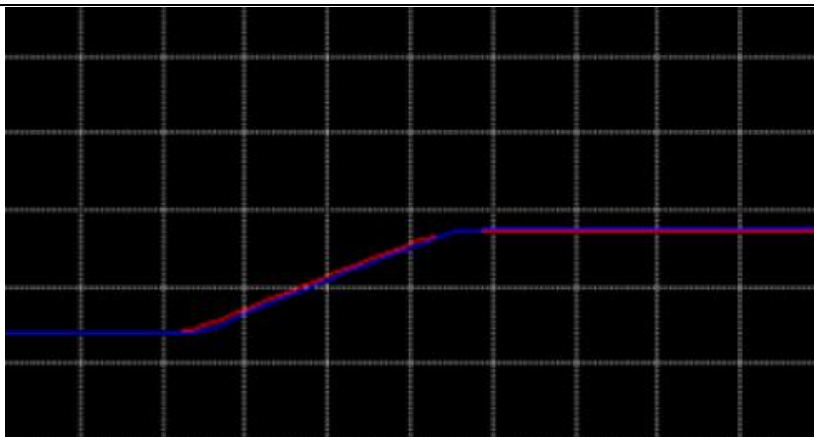
P_{gain} 过大时，从动机构会转的很快然后停下再转的很快再停下，并不是比较连续的运动。这是因为系统想要保持位置跟随，但是由于 P 太大导致比例系数太大，以至于调节的参数被放大了很多倍因此会突然升高突然降低



速度曲线
红：主动电机
蓝：从动电机

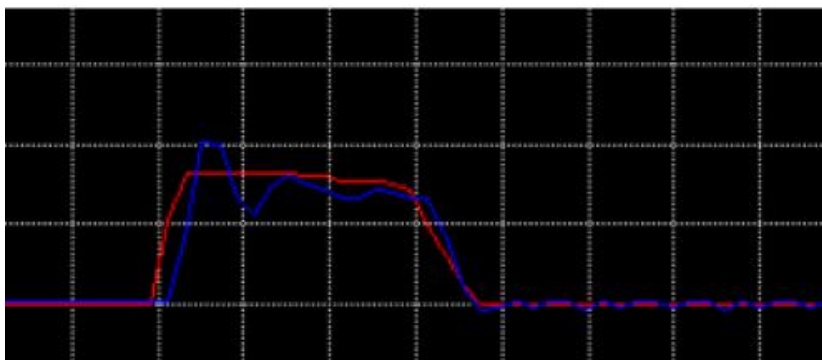
P_{gain} 过大会导致从动电机速度骤升骤降

在范围内大致调节 P_{gain} 的值，使在启动的时候，可以看到从动机构速度一开始是大于主动机构（如果没大于则需要增加 P 的值），之后会以波浪形变化，位置基本保持一致，但是运动过程中位置偏差较大，并且停机的时候还会在原地来回转动

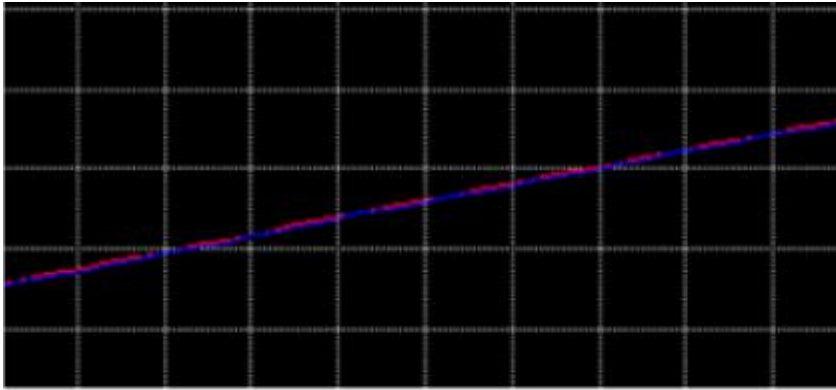


位置曲线
红：主动电机
蓝：从动电机

启动过程

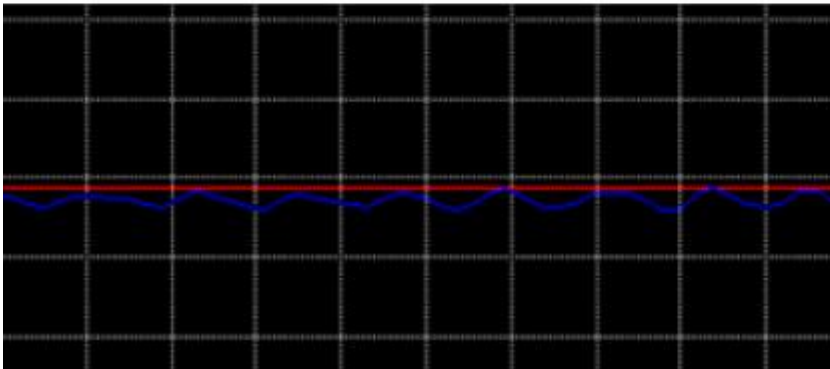


速度曲线
红：主动电机
蓝：从动电机



位置曲线
红：主动电机
蓝：从动电机

运动过程



速度曲线
红：主动电机
蓝：从动电机

此时的运动状态偏差值保持在 200 左右，并且电机 A 停下以后，电机 B 随之停下，但是会在原地摆动一直找盲区值，但是需要很久才能到达盲区。

在这种状态下就可进行 I 的调节了，这种状态下 I 需要从小到大调节，I 太小现象与上面的情况无异，I 过大，会导致 P 过大一样的情况，所以需要在运动过程中调节 I 的值，让运动中的位置偏差变小，并且使速度曲线更加平稳，并且在停止时候，使从动机构尽可能小幅度的运动。

注意 I 是要在运动过程中慢慢调节并实验，I 为 0 的时候误差值与 I 为 89/1000 时候的偏差值如下图。可看到根据调节的 I 值，偏差值在运动过程中仍保持在 10 以内，并且停止的时候会很快停到位，不会来回晃动。



大多数情况下 D 是不需要调节的，仅需要对 P 于 I 做调节即可满足大多数工况。

程序及调试界面有兴趣可联系笔者提供。