电子系统导论实验报告

实验10 自动控制

指导教师：万景

学生姓名：彭堃	学生姓名：吴磊	学生姓名：徐洋
学 号：22307110109	学 号：22307130218	学 号：20300290037
专 业：保密技术	专 业：技科	专 业：计算机

日 期：2024.05.10

一.实验目的

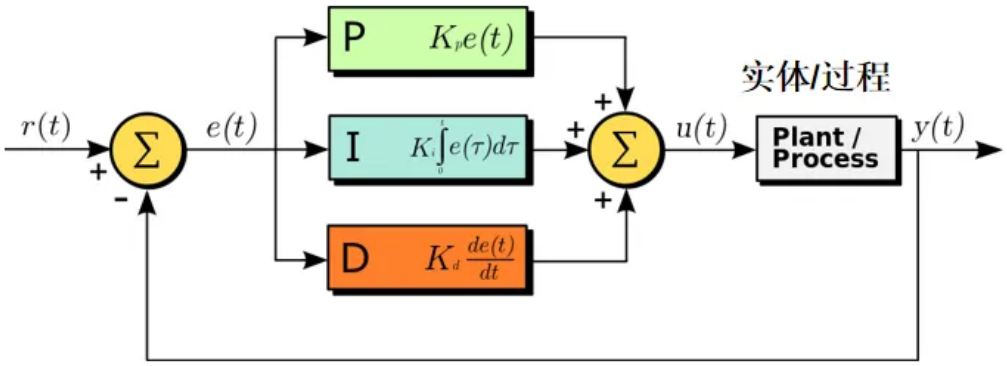
1.了解反馈控制的基本原理

2.掌握PID控制的基本方法

二.实验原理

1.PID控制原理

在工程实际中，应用最为广泛的调节器控制规律为比例(proportion)、积分(integral)、微分(derivative)控制，简称PID控制，又称PID调节。



图中展示了PID控制的基本原理。给定输入 $r(t)$ 到系统中运行，其中 $y(t)$ 是过程中得到的实际输出值， $e(t) = r(t) - y(t)$ 是需要修正的值，最后通过PID系统输出控制变量 $u(t)$ 来修正输出。

PID分别是英文proportion,integral和derivative的缩写分别表示对误差 $e(t)$ 进行乘系数，作积分，做微分的操作。

以控制小车速度为例

例如将小车速度设定值r(t)为3m/s，由码盘测得速度为 3.2m/s，即过程输出值y(t)；偏差e(t)为−0.2m/s。

- P：将−0.2m/s乘以一个系数（正）输入到控制器中，以减小输出的占空比，则车轮转速将降低，向设定值靠近。KP越大则调节的灵敏度越大，但过大可能会使实际速度低于3m/s（超调）。
- I：只经过比例调节的小车，可能稳定后的速度为3.1m/s，存在稳态误差−0.1m/s；虽然误差很小，但是因为积分项也会随着时间的增加而加大，它推动控制器的输出增大，从而使稳态误差进一步减小，直到等于0。
- D：小车中有些组件存在较大惯性或者滞后性，其变化总是落后于误差的变化。假设经比例调节后实际速度为3.1m/s，则设定速度与实际速度的差值由−0.2m/s变为−0.1m/s， e(t)的差分为0.1m/s2，将此差分乘以系数（正）加到控制变量中，相比只有比例环节减缓了速度降低的趋势（减小超调量）。

2.PID的手动调参

根据理论，PID控制可用数学公式表达:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t')dt' + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad 其中K_p, K_i, K_d \geq 0.$$

K_p, K_i, K_d 分别为比例系数，微分系数和积分系数。

手动调参参数对输出的影响:

- 独立增加参数的影响

调整方式	上升时间	超调量	安定时间	稳态误差	稳定性
↑ K_p	减少 ↓	增加 ↑	小幅增加 ↗	减少 ↓	变差 ↓
↑ K_i	小幅减少 ↘	增加↑	增加 ↑	大幅减少↓↓	变差↓
↑ K_d	小幅减少 ↘	减少↓	减少↓	变动不大→	变好 ↑

调参秘诀：先比例后微分有需要调积分。

参数的影响:

1.增大比例系数使系统反应灵敏，调节速度加快，并且可以减小稳态误差。但是比例系数过大会使超调量增大，振荡次数增加，调节时间加长，动态性能变坏，比例系数太大甚至会使闭环系统不稳定

2.增大微分系数可以减小超调量和稳定时间。

3.增大积分系数会减小稳态误差，但会增大超调量和稳定时间；

3.离散PID

由于在计算机上进行PID调节时只能用离散型PID，我们介绍简要介绍离散PID的原理。

实际上就是对积分、微分进行离散化处理。计算机有基本采样时间间隔，设为 T ，那么对于 kT 时刻的系统有:

偏差 $e(k) = u(k) - y(k)$

积分使用加和: $e(k) + e(k-1) + ...$

微分考虑斜率: $k = \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$ （实际上每一个 T 均是恒定时长，所以形式上不除以 T 也可以表达微分）

PID改写为:

$$u(t) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=1}^{k} e(j) + K_d(e(k) - e(k-1)) \quad 其中K_p, K_i, K_d \geq 0.$$

三.实验内容

PID控制小车直行

调整代码

在预习时我们便发现了代码中有一出明显的错误，因为在上次定时计数实验中，我在单线程代码的尝试中为了保证内存安全，将睡眠时间修改成了0.1，同时也将除数从585.0修改成了58.5

而在本次实验的代码中，睡眠时间被改成了0.1，除数却还是585.0，这显然是有问题的，假如使用原始代码的1.9的速度输入，等价目标速度会变成19，根本达不到，最后就是占空比全拉满

我们修改了代码，并将目标速度设置为最大速度的一半左右，也就是3，这样速度比较合适，不快不慢，对代码来说有较大的调整空间

手动调参方案

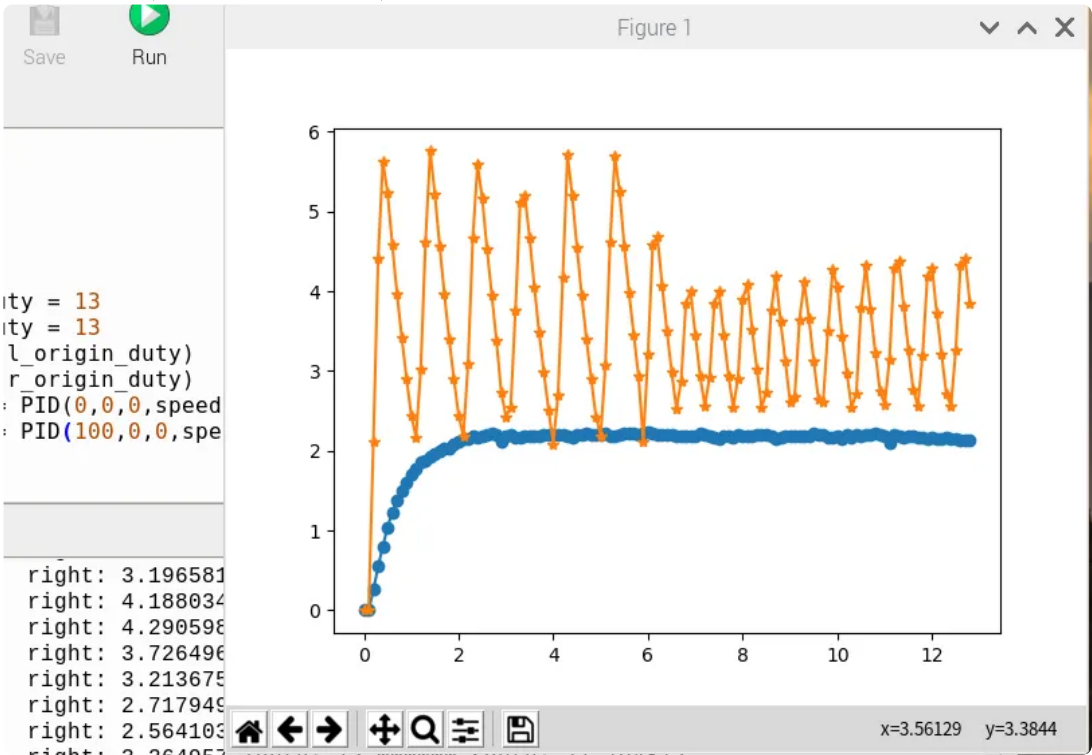
由于这些参数目前对我们来说都是黑盒，所以我们打算按照上面的建议依次调整，并采用类似于二分查找的方案来快速找到较为合适的参数，当然这里的二分查找和算法的二分查找有区别，相较于直接比较大小，这里我们使用我们的大脑来评判调参效果并调整范围，另外二分查找是严格单调，而我们这里是找最好，所以我们可以使用大脑评估、回调

另外我们采用控制变量法加比较法，左右轮使用不同的参数，但仅一个参数不同

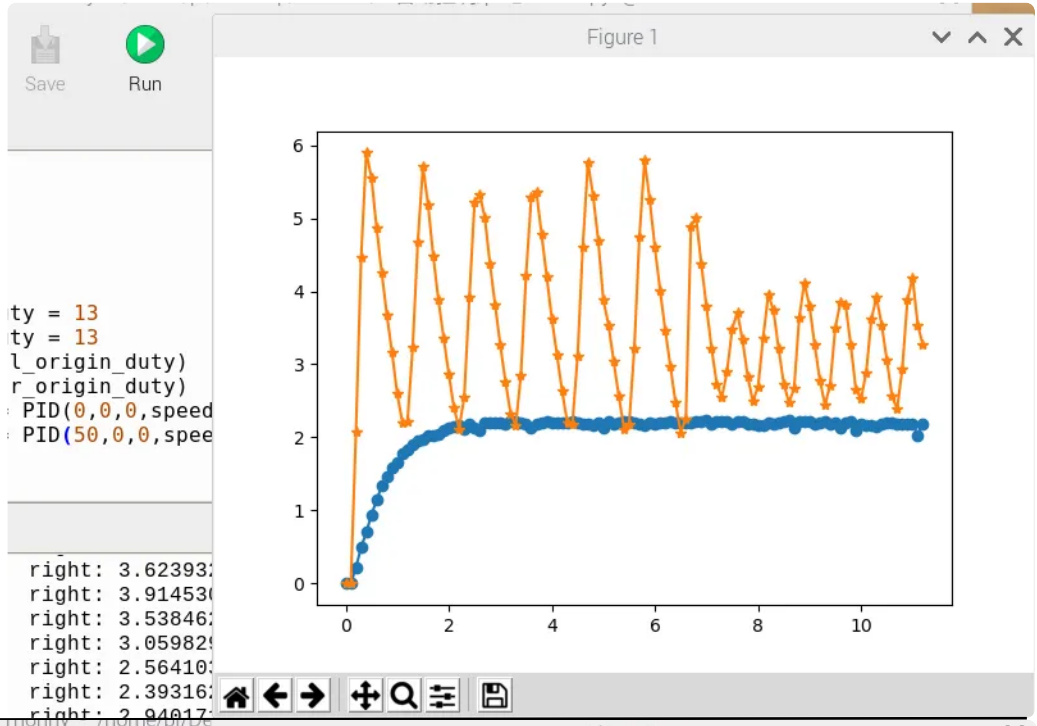
P调参

我们参考之前的一些内容和代码提供的原始参数，决定将后面两个参数置0，P选择0–100的范围

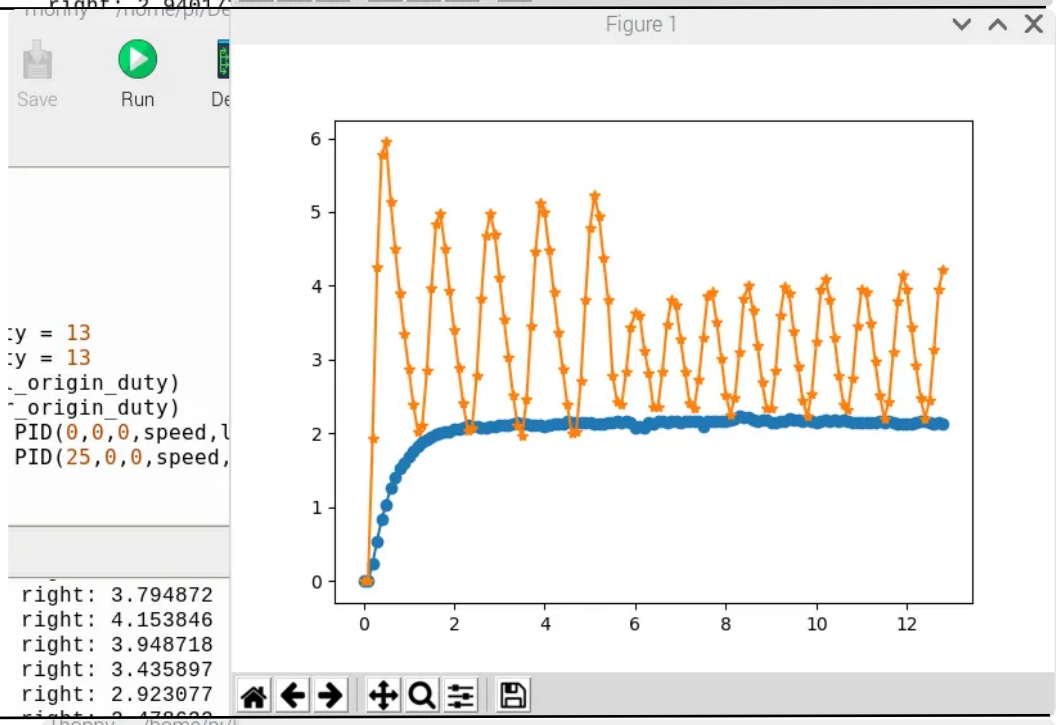
1. 第一次，100~0,可以看到100超调明显，而0调整不过来，这里我们还是考虑先减少超调



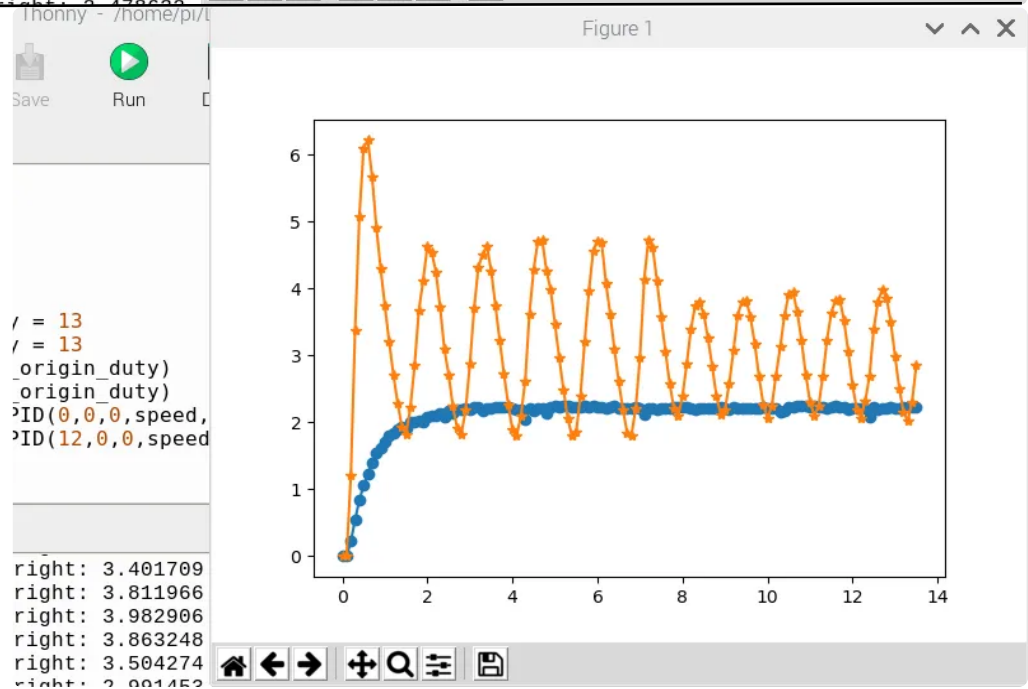
2. 50~0 依旧超调



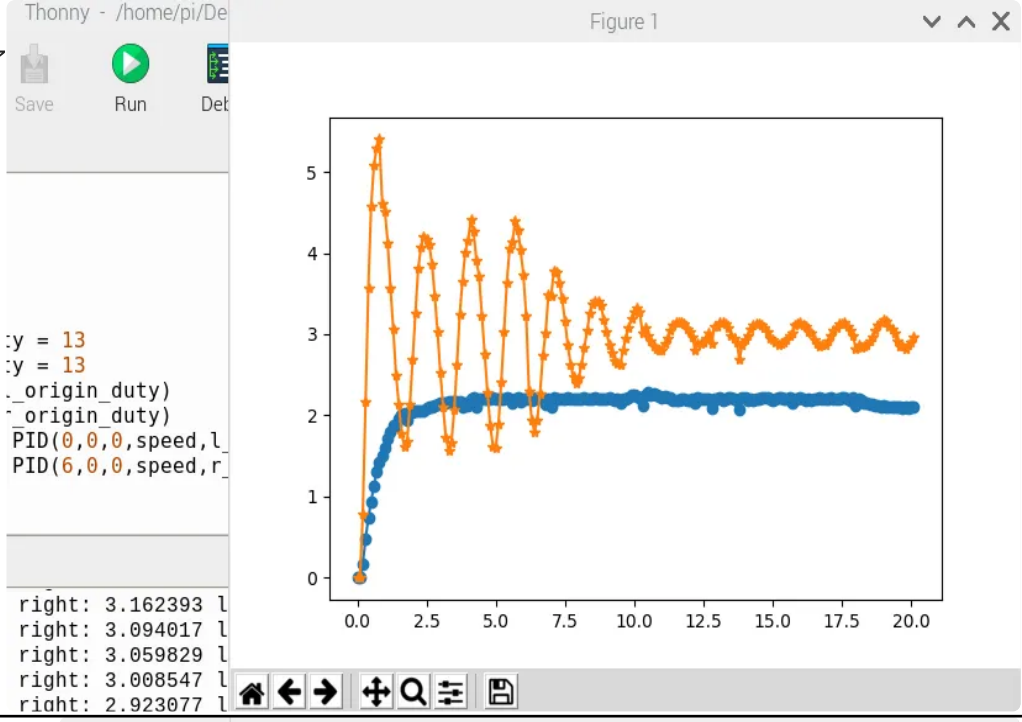
3. 25~0 还是超调



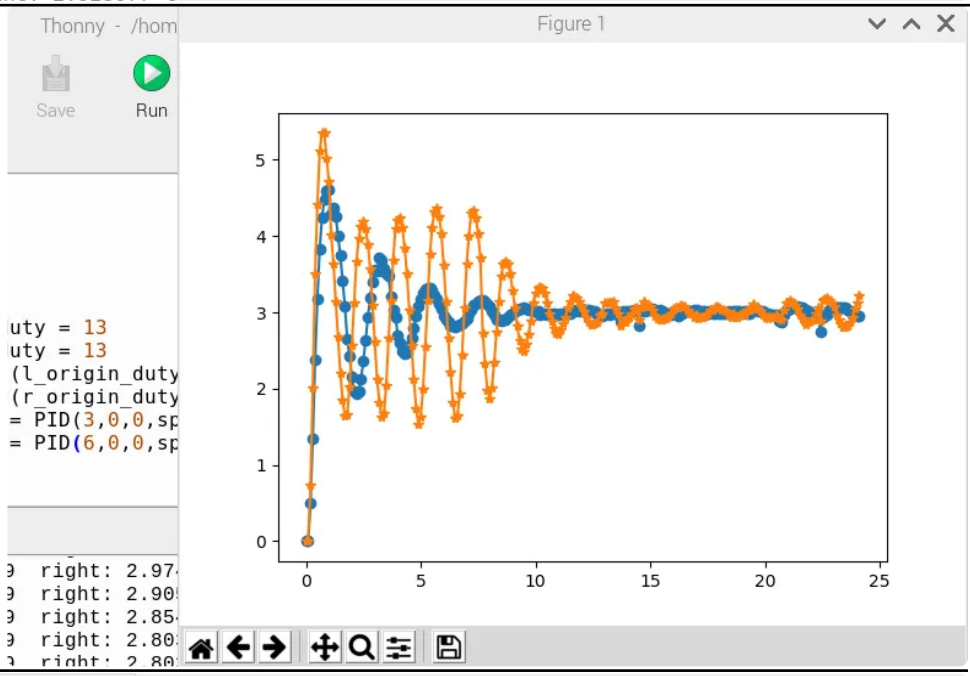
4. 12~0 超调



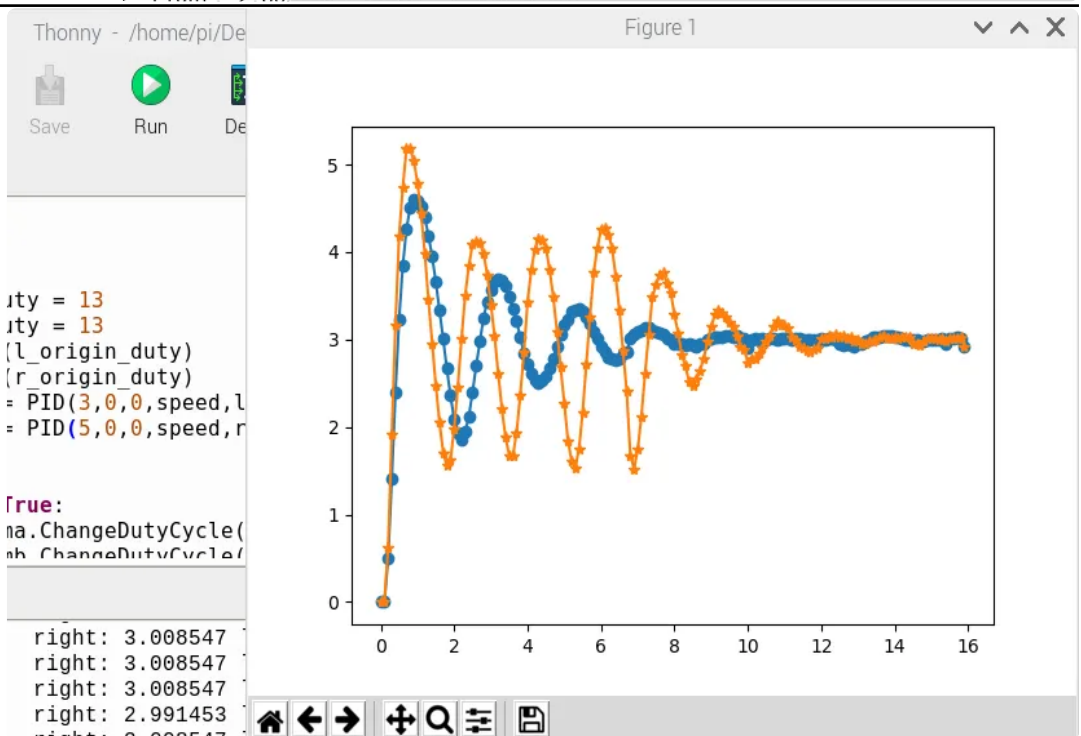
5. 6~0 可以看到超调已经不是很明显，这时我们就需要考虑调整0了



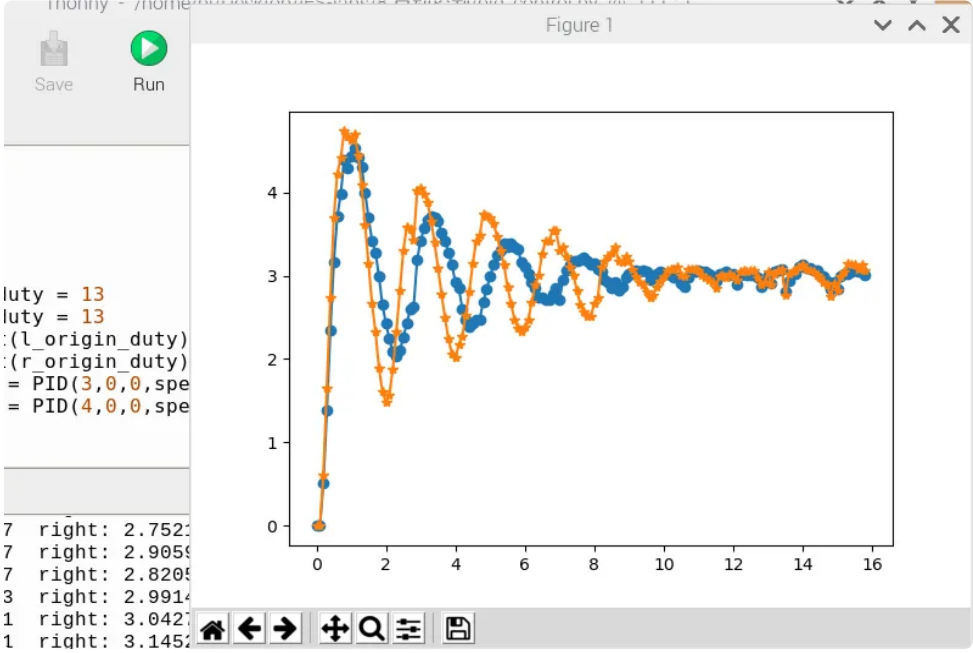
6. 3~6 明显3更优秀



7. 3~5 还是3更好



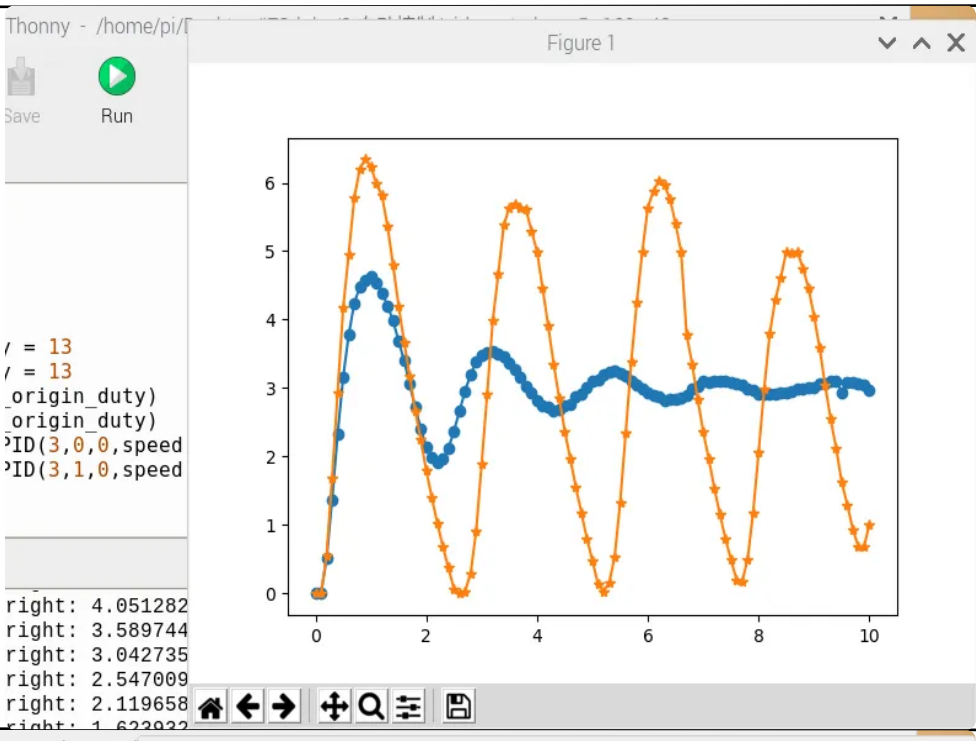
8. 3~4 差距不大，最终选择3



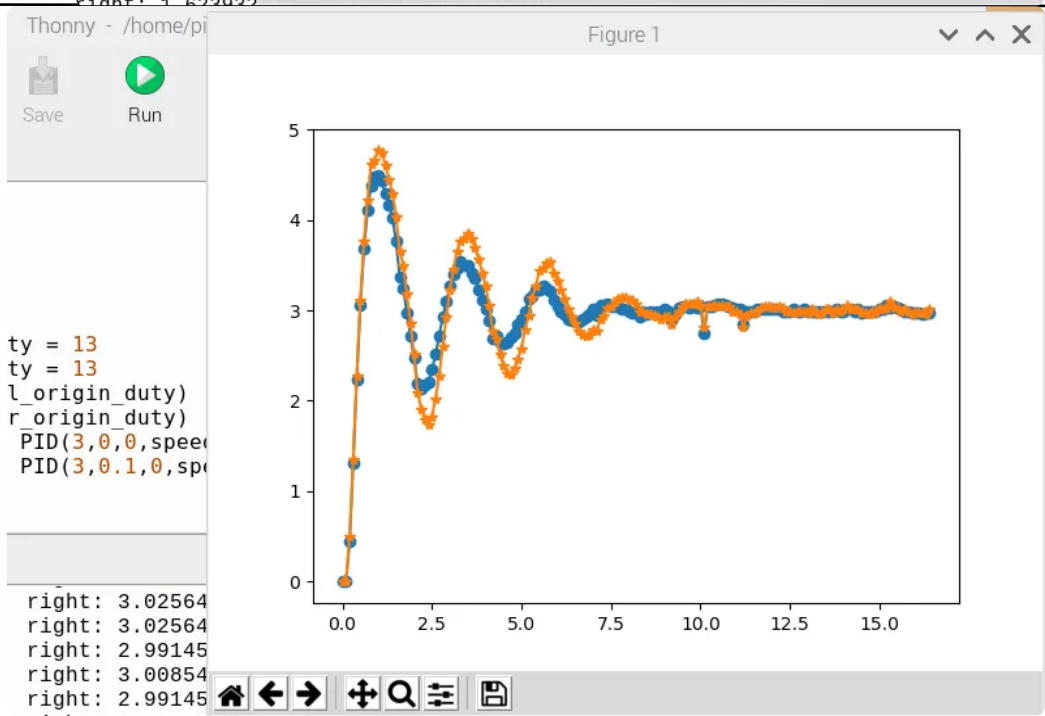
I调参

参考原始代码给出的值很小，我们选择从1开始

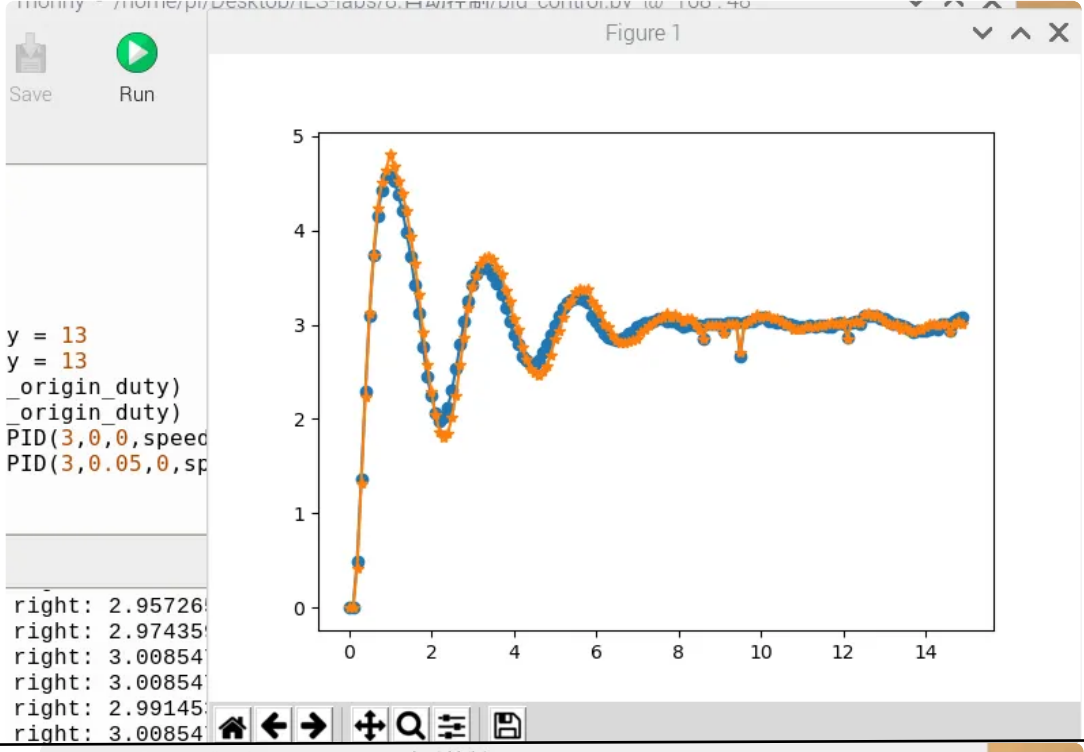
1. 1~0 明显1太大了，直接调到0.1试试



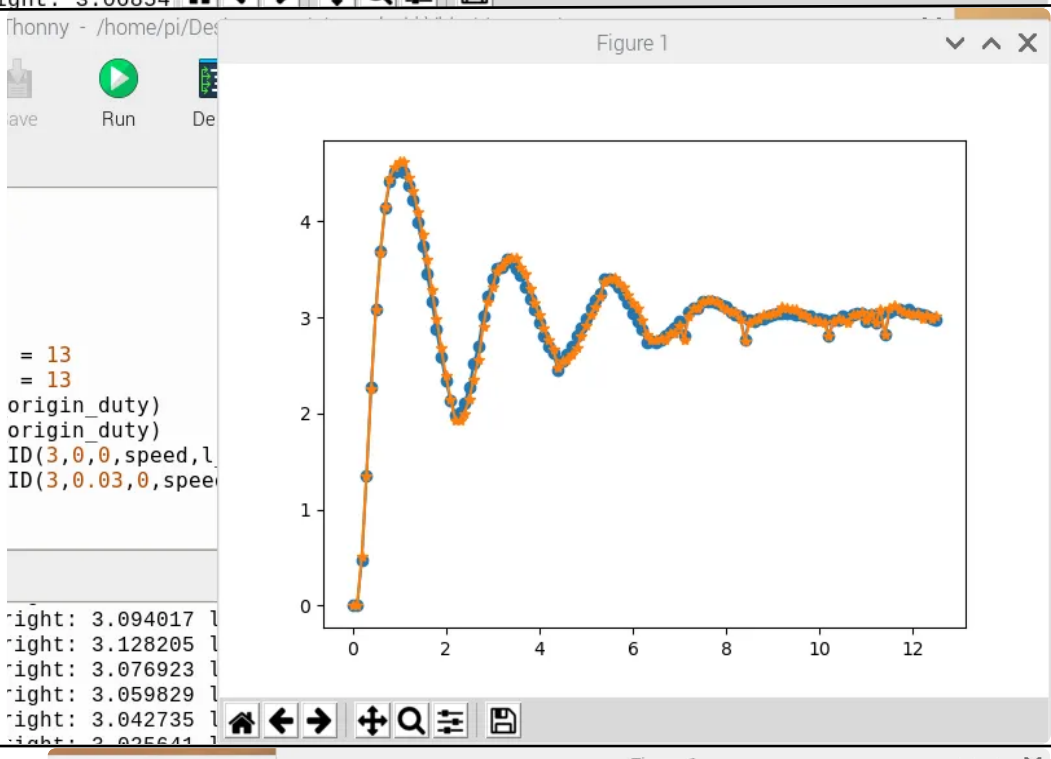
2. 0.1并不比0好，还要调小



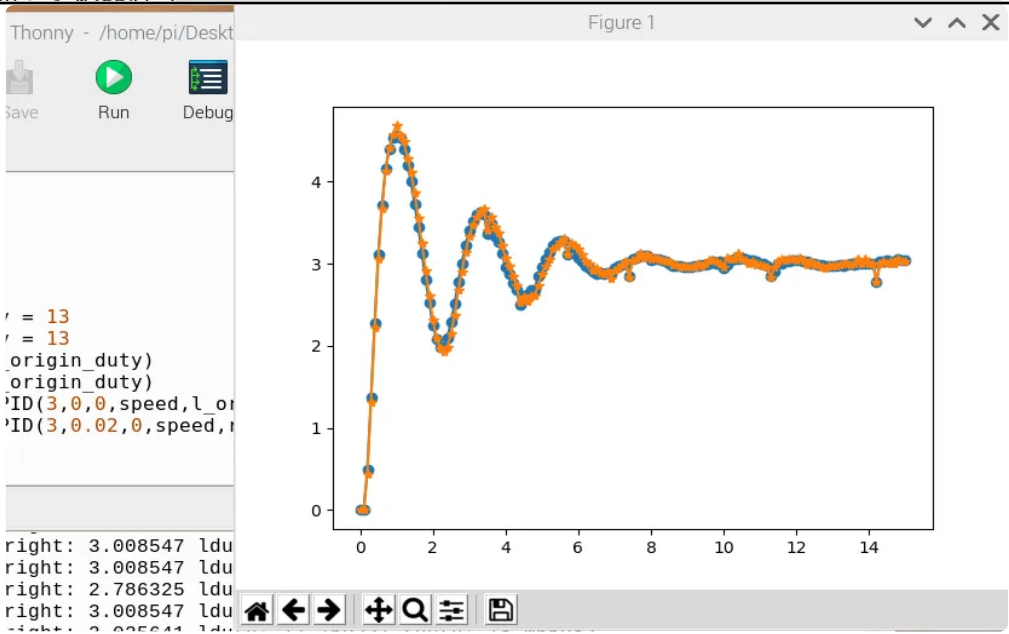
3. 0.05非常接近0的效果，
预计在二者之间

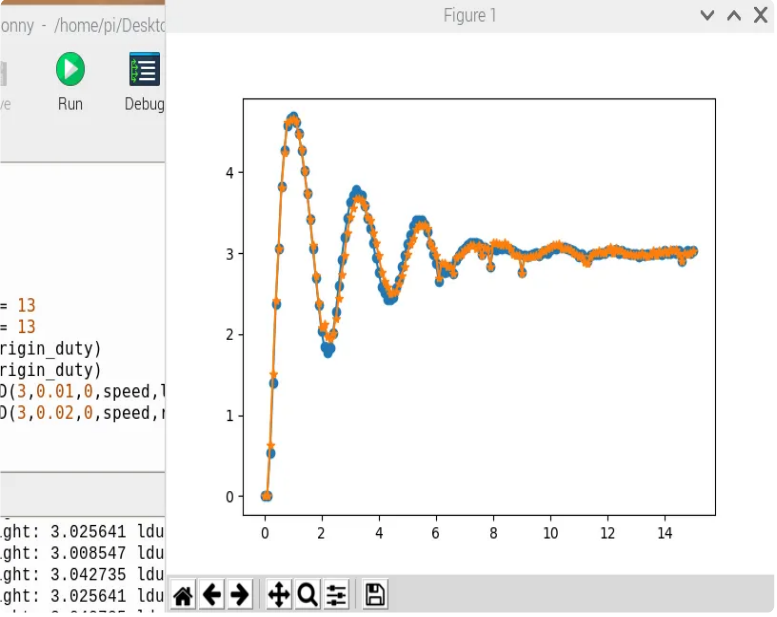


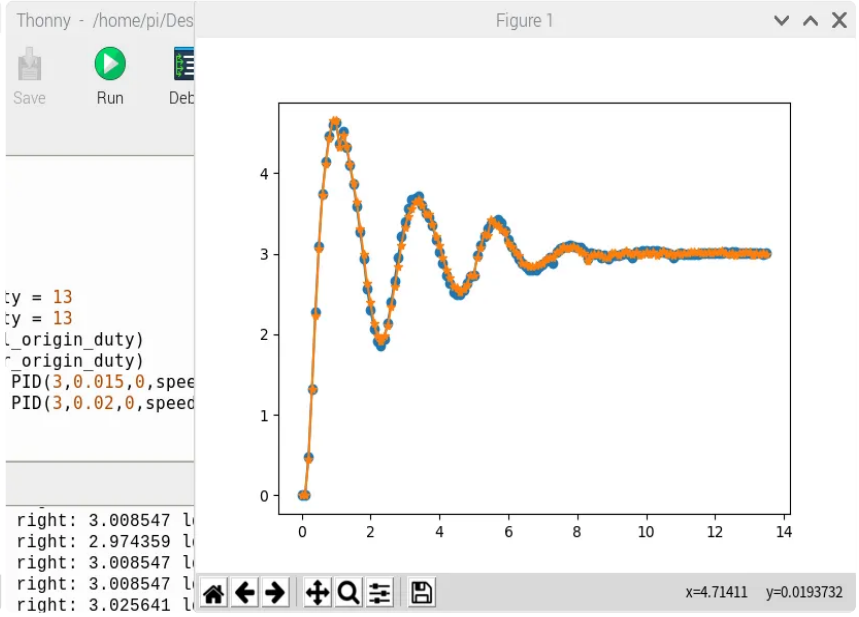
4. 0.03与0基本一致，
大概就在中间，进行几次比较



5. 分别比较相近的几个值，
最终发现0.02基本最优



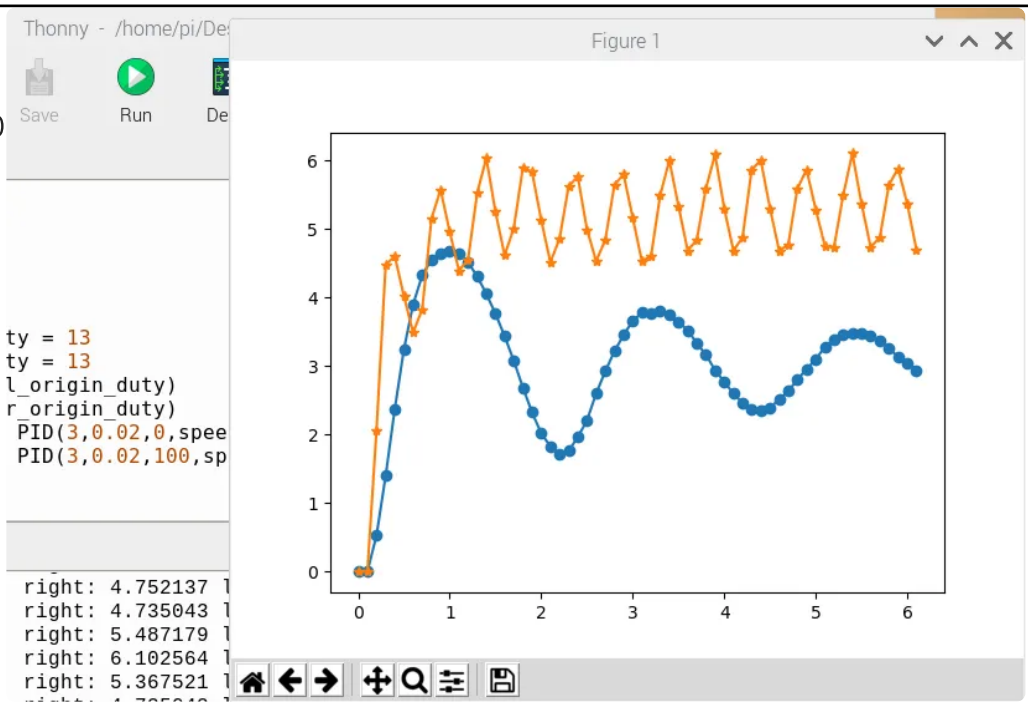




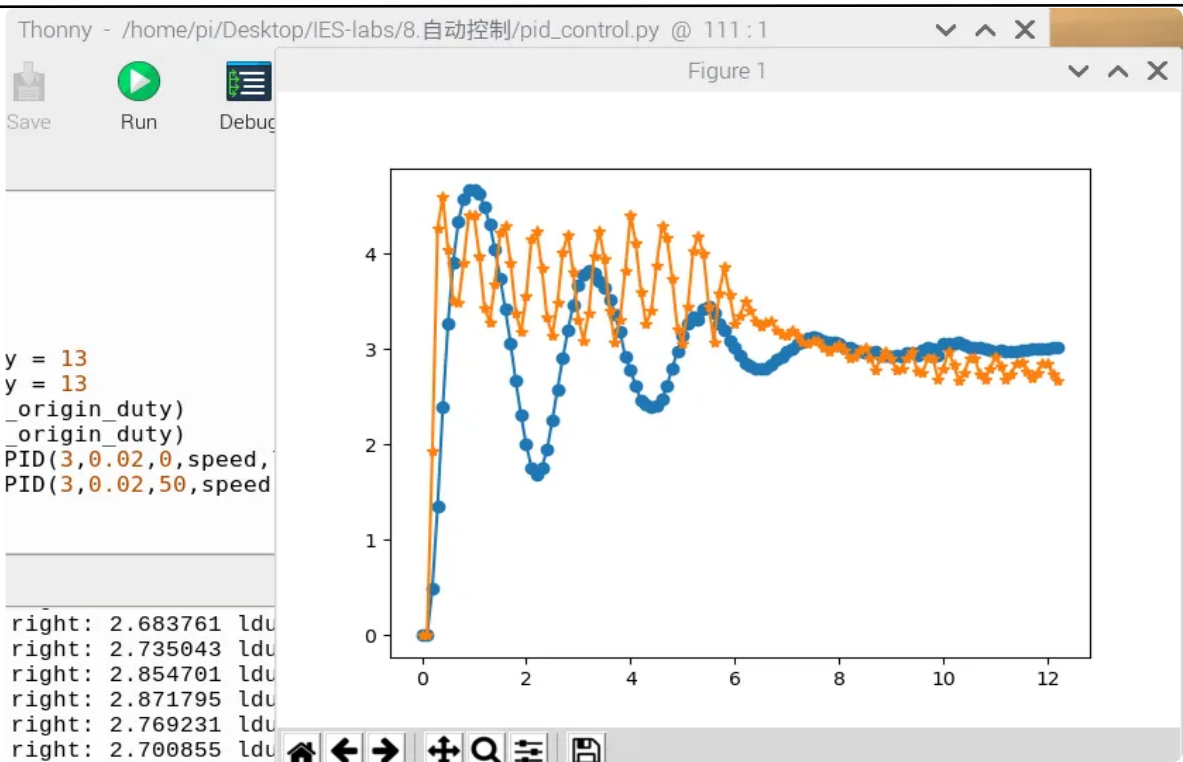
D调参

考虑到之前的数值，我们打算取范围0–100

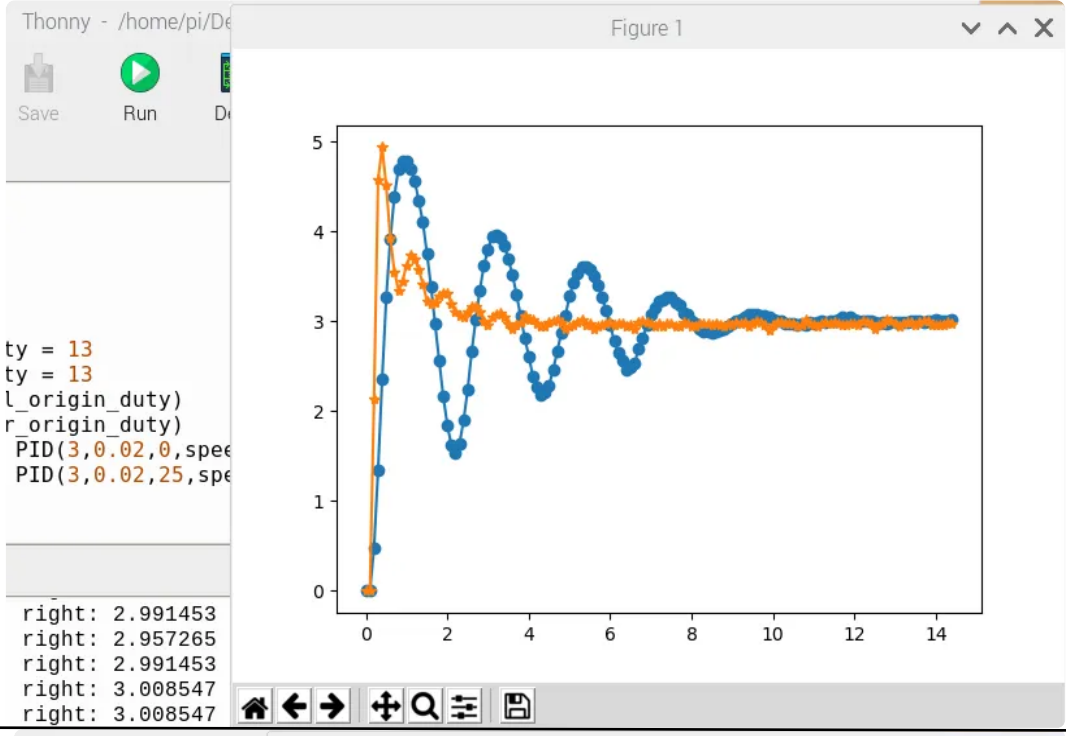
1. 100~0 明显过度调整了



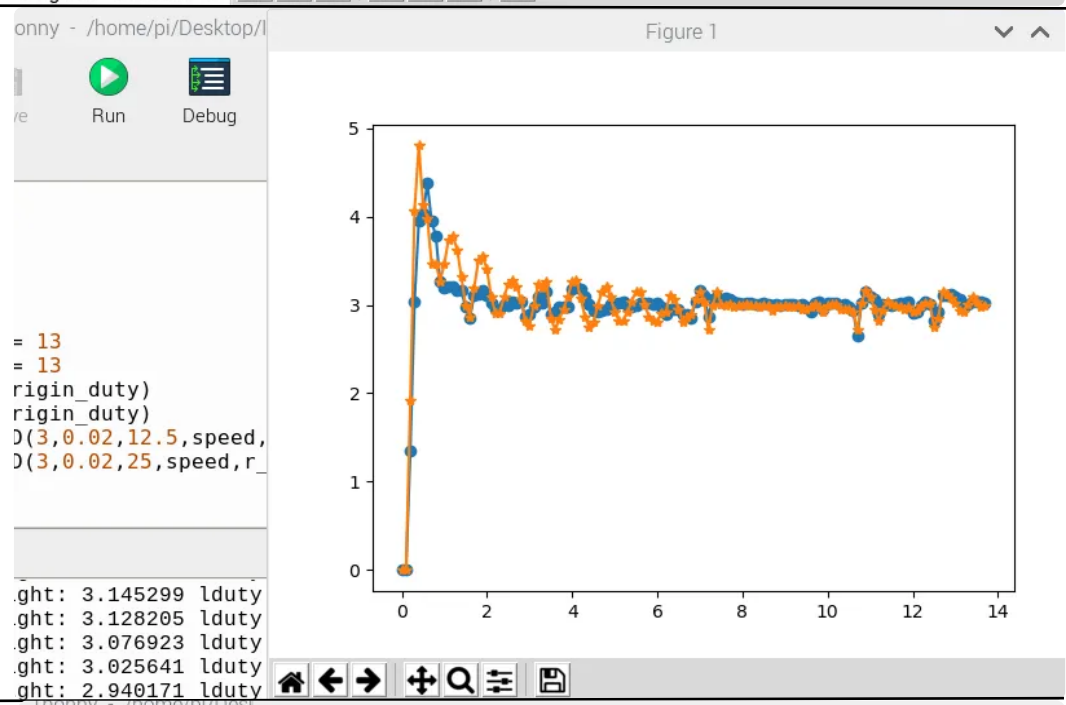
2. 50~0 还是过度了



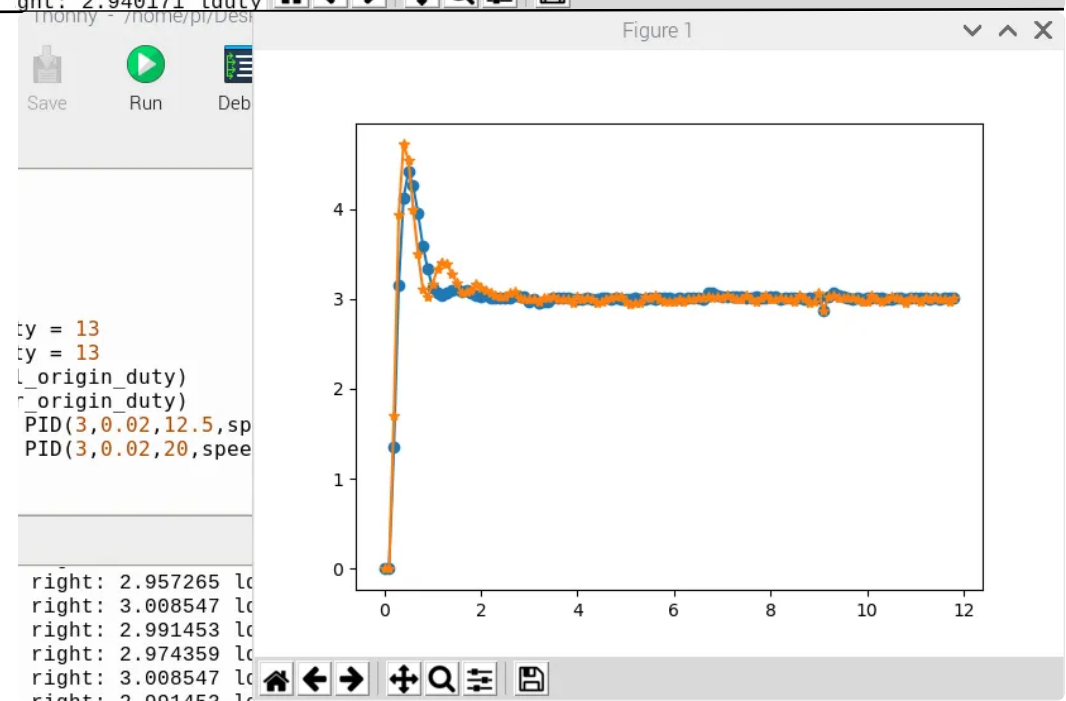
3. 25~0 展现出相当不错的优化效果，可以调整0了



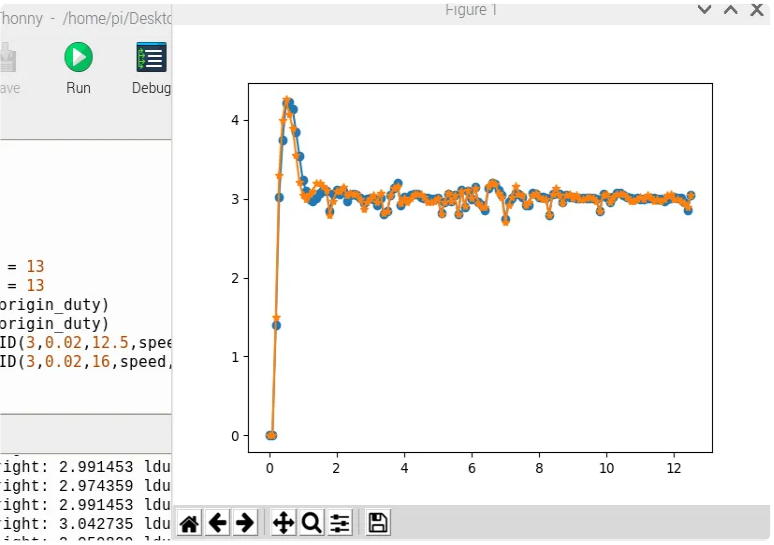
4. 12.5~25 明显小一点更好

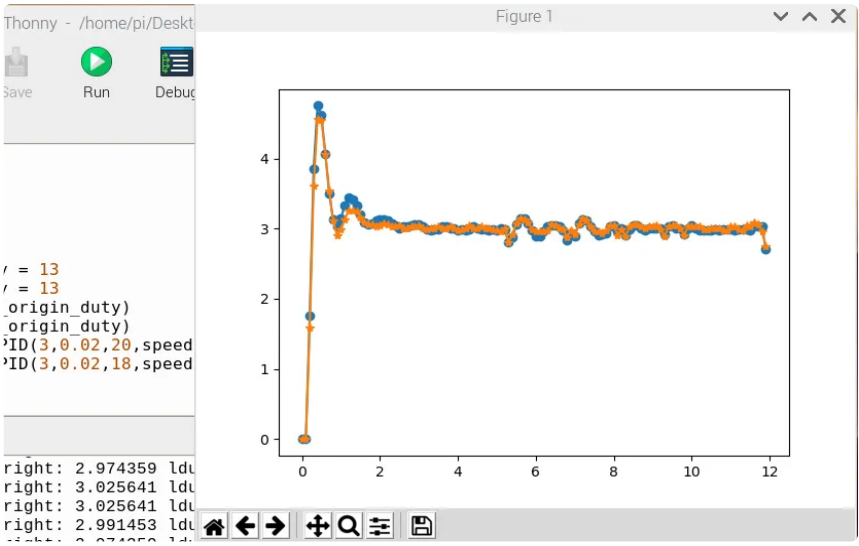


5. 12.5~20 20的效果
相当不错，大概就在二者之间



7. 进行一些比较，实际上18大概是最好的，但是20也不错





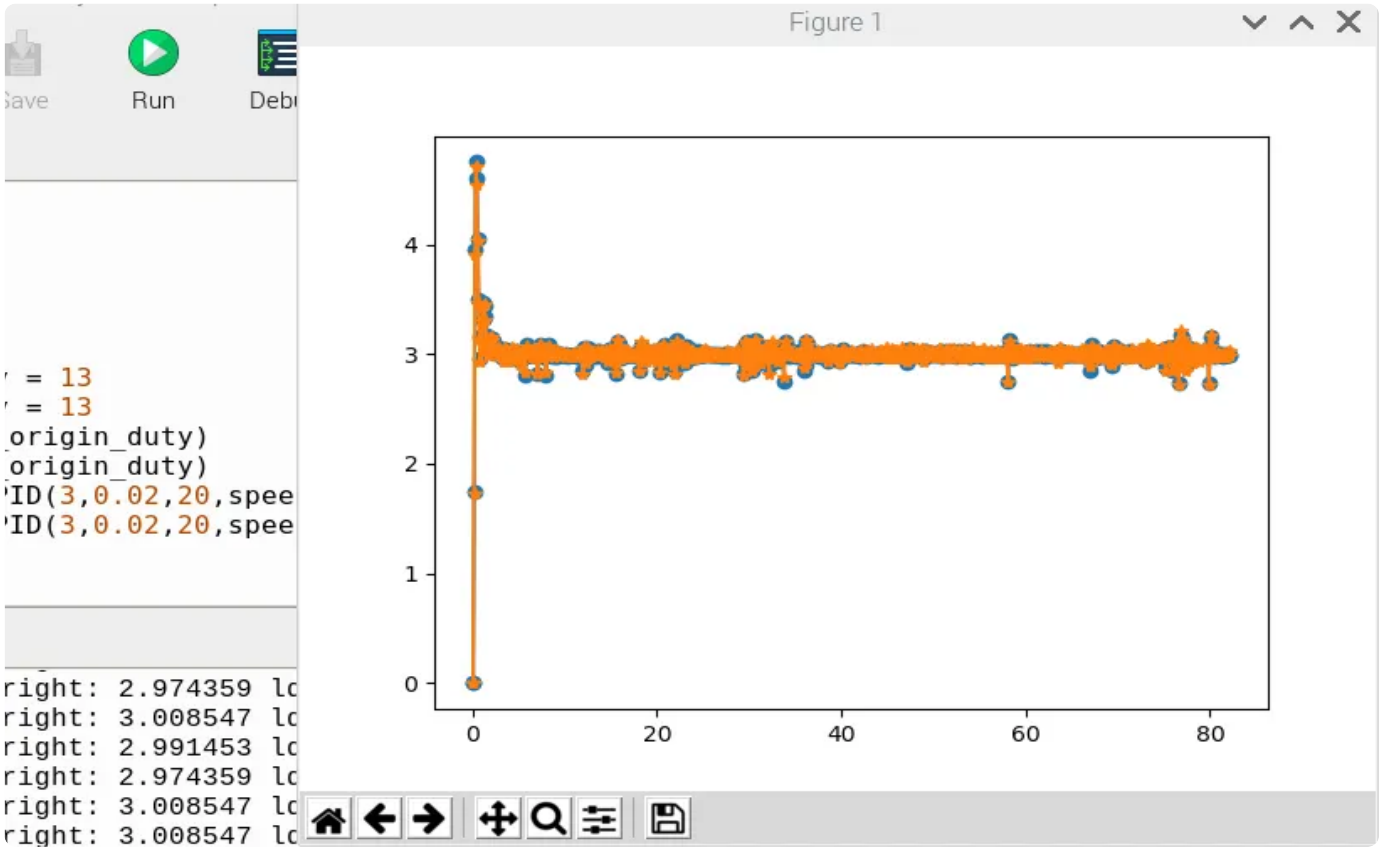
最佳参数范围及稳定时间测试

在进行一些尝试，根据大量数据，我们可以认为最佳参数范围大概是

P:3~4；I: 0~0.3（影响较小，且可能不止一个峰值）；D:17~20

由于三个参数是相互影响的，所以我们暂时还不能简单的得到“最佳”的参数

- 最终我们选择了这样一组参数进行测试

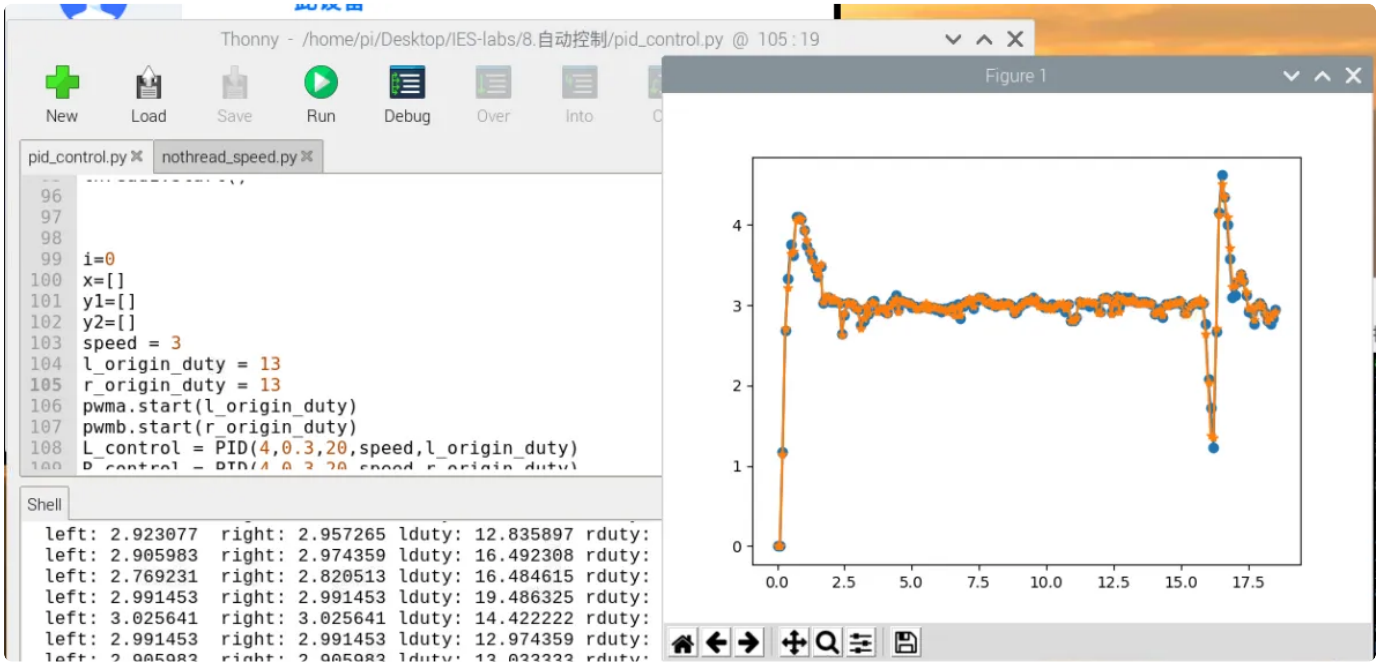


可以看到稳定时间非常长，已经完全足够

地面行走测试

这里我们调整了一点系数，可以看到地面有阻力的情况下第一次达到的最大速度降低了

左右轮的速度基本保持一致，中间我们施加了一个干扰，可以看到调整过程在两个轮子也基本一致



四.实验分析

1.实验代码

代码逻辑并不复杂，就是离散PID算法的代码化实现，这里就不再注释了

唯一要注意的就是上面提到的代码错误，将585.0改成58.5

2.P、I、D的各自作用是什么?

- P即Proportion(比例系数)，这个系数是最直接对误差进行调控的量。例如当误差 $e(t) = 0.8$ 时，假定比例系数设置为 $K_p = 0.8$ 时，P的调控会立马增加 $e(t) * K_p = 0.64$ 的误差修正，从而使得输出值接近设定值。完成一次PID操作后，会再返回 $e(t)$ 值，进行下一轮调控。

- I即Integration(积分系数)，这个系数的出现是为了消除"稳态误差"。"稳态误差"是对设备稳定误差的一种调节方法。假如P调控最后的调控值卡在某一个点。(例如:最后P调控 $K_p * e(t) = 0.04$ ，但是内部组件一直有 -0.08 的稳定损耗，会导致P调控在某一个阈值而无法增加，导致很均匀的误差时)，I调控就需要被使用。I调控的基本依据是过去所有反馈回来的误差，即 $\sum_{i=1}^{n} e(i)$ ，积分系数 $K_i \neq 0$ 时，I调控会给予 $K_i * \sum_{i=1}^{n} e(i)$ 的调控，即收集稳态误差，在通过乘系数去打破稳态误差。

- D即Differential(微分系数)，这个系数的作用可以从手动调参的表格参考得来。表格说对于 K_d 的调整会使得安定时间减少，但是波动会大幅减少。在离散PID控制中，D调控是离散的，是基于 $e(t)-e(t-1)$ 的调控当之前的调控超调时， $e(t)-e(t-1)<0$,会立马进行一个约束的调控，并且在D调控中，由于有相对差量 $e(t)-e(t-1)$ 的输入限制，它的调整量会比P调控更加稳定。(在参数合理的情况下)故D调控最明显的作用就是可以很优秀的压制超调量，运行中增加反馈值的稳定性。
- 由于不同系数，不同的调控方式也会有连结的地方，谈论它们的作用是基于定性研究的。

3.如果发现小车走不直，如何确定问题和优化?

- 首先先排查代码层面的问题，若基础代码没有大问题则可到下一步。
- 再排查器件本身的误差，比如在同等PWM波占空比下，两边的轮子是否转速相同，若不同，则要针对每一个轮子设计PWM波占空比。
- 其次就要开始考虑PID调控带来的波动。如果PID控制效果的安定时间和稳定性很高就不会在合理路径中出现"走不直"这种情况。所以还需要对PID参数进行调整，调整方向具体是对D上升，对P、I下降，来减小波动。(波动过大会导致两轮的误差被放大，导致路线蜿蜒曲折)

五.总结与思考

1.本次实验通过采用PID控制原理来让小车能够以给定的速度自动直行。在实验过程中，调整相关参数相当重要(包括对代码的调整和对PID各系数的调整)，调整合适的参数和使用良好的测试方法(二分法)会让实验过程事半功倍。自动控制的实现也让小车自主移动成为了可能，为之后接入图像、定轨行走提供了良好的方法基础。