

基础四：PD 负反馈控制器

PART FOUR: PD Feedback Controller

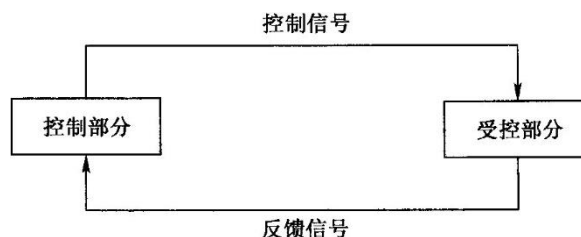
目标 Sections

- S1. 认识负反馈系统，如血糖调节；
- S2. 了解 PD 负反馈控制器的实现，位移与速度；和

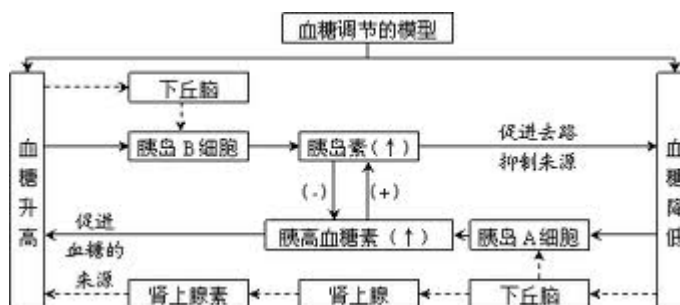
S1. 负反馈系统

不知道大家还记得在基础一中的一个论断么：接近时排斥，远离时吸引，这是一个完美的稳定平衡。这个论断，其实说得就是一个负反馈系统。

提到反馈系统，如右图所示，就至少包含两部分：控制部分与受控部分；它们由反馈信号与控制信号相互交流影响。反馈信号把受控部分的信息，如位移、速度、浓度或温度，传递给控制部分；然后，控制部分作出判断，把控制信号输出到受控部分。



我们人体内就存在一个十分重要的负反馈系统——血糖调节，如右图所示。当血糖升高时，下脑丘就会调节胰岛 B 细胞，使胰岛素浓度上升；这会促进去路，抑制来源，导致血糖降低。反之，如果血糖过低，下丘脑就会督促胰岛 A 细胞分泌胰高血糖素，维持并提高血糖水平。



一般而言，所谓“负反馈”，是通过控制信号对受控部分进行反制或抑制，所以能够让系统稳定平衡下来；相应得，所谓“正反馈”，受控部分与控制信号比翼齐飞，相得益彰，完全停不下来，好像人口爆炸那样！

S2. PD 负反馈控制器

让我们先来欣赏一下日本 HONDA 机器人 ASIMO 的精彩表演。

<https://www.youtube.com/watch?v=zul8ACjZI18> 【ASIMO - All New Features 2011】

在视频中，ASIMO 成功拿到了杯子。是的，对于人类而言，拿一只杯子有什么难的呢？要知道，你小时候一定打碎了不少杯子吧？

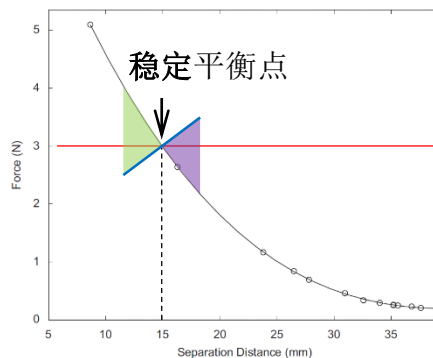
简单来说，拿杯子这个动作，可以分为四个步骤：一、**靠近**杯子；二、**停在**杯子附近；三、握住杯子；四、bingo！在第一步里，我们需要知道手与杯子间的**距离**，或**位移**——**P 控制器**；在第二步里，我们需要知道手与杯子的**相对速度**——**D 控制器**。

【P 控制器】

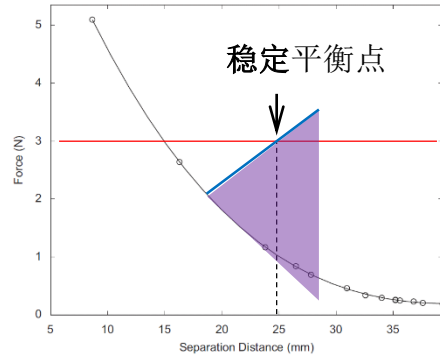
P 控制器 (*proportional controller*) 代表了对于相对距离的反馈。正如前文讨论的血糖调节，一旦相对距离超过了设置值，控制器就产生一个相反的作用力；反之，如果相对距离小于设置值，控制器就会试图增大相对距离。

大家还记得**基础一**中的【案例分析二】么？对于普通的磁场吸力平衡，物体根本无法稳定在平衡点，而很容易向两端无限偏离。我们能不能在 P 控制器的帮助下，营造一个负反馈系统，而实现稳定平衡呢？

答案是肯定的！如果我们准确知道了这个平衡点的位置（如 15mm 处），那么，我们可以通过线圈，附加一个 P 控制器实现的磁场（还记得磁场的线性叠加原理么？），简称为 **P 磁场**，如右图绿色和紫色的区域。其中，绿色磁场是排斥力，即反向电流；紫色磁场是吸引力，即顺向电流。那么，悬浮物在这样一个“永磁铁磁场+**P 磁场**”的组合磁场中，受到的力可以用**蓝线**表示。我们可以发现，蓝线符合了“**接近时排斥，远离时吸引，这是一个完美的稳定平衡**”。所以，蓝线与红线（重力）的焦点，是一个**稳定平衡点**！



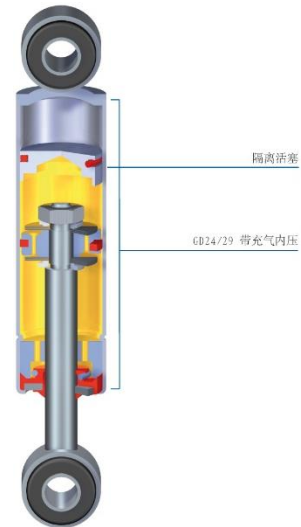
一般而言，只要 P 控制器足够强大，能够“大勇止于戈，永不居功”，那么稳定平衡不是问题！比如右图所示，如果，我们的线圈，在 28mm 处依然能提供可观的吸引力，即大块的紫色区域；那么，我们的蓝线依旧可以与红线相交，形成一个稳定平衡点，让悬浮物平衡在大约在 25mm 处！



【D 控制器】

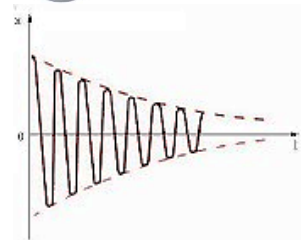
既然，我们已经实现了一个稳定平衡，D 控制器又是用来做什么的？可以把 D 控制器去掉么？

看这种名字，有些人可能就会联想到英文中的“damper”或阻尼器（如右图所示，汽车悬挂系统中的重要部件，请自行百度，此处不展开讨论）。是的，D 控制器（*differential controller*）代表了对于相对速度的负反馈。与 P 控制器类似（尽可能地降低相对距离），D 控制器试图创造一个 **D 磁场**，尽可能地降低相对速度，让悬浮物尽可能得慢下来。



有些人以为，磁悬浮嘛~浮起来就可以高枕无忧啦~磁场不就是块棉花糖嘛，好像云朵那样飘在天空中，多美好呀~~~

大错特错。一旦成功地反抗了地球的吸引，无所依托的悬浮物其实是很难受的。周围的风吹草动都会对悬浮物造成很大的影响。本来，物体在地面上有**摩擦力**作为保护伞，一丢丢的风，根本就吹不动物体，可以用“稳如泰山”来形容。但是，比如高层建筑，特别是上海的那些，楼顶的风速都可以高达十几米或者几十米每秒，如果是你，根本就站不稳；所以，高层建筑反而需要深达一百多米的地桩。那么，我们的磁悬浮，不能打地桩，又能向谁讨依托呢？



阻尼震动的图象

所谓，成也线圈，败也线圈。线圈（电磁铁）把物体悬浮了起来，也唯有线圈能帮助悬浮物抵抗环境干扰！对于磁悬浮应用而言，D 控制器是很重要的一环，它能帮助耗散系统中以震荡形式存在的能量；同样地，它也能让悬浮物在充满干扰的环境中，如风中，尽可能得稳定下来。

拉诺还设计了一个小实验，让大家感受一下，D 控制器的重要性。

网友动力老男孩也对 PID 控制器进行过一番描述，链接如下，共各位参考。（参考文献：<http://www.diy-robots.com/?p=787>【盗梦陀螺攻略 5- PID 平衡算法】）