

香港大学轮腿平衡步兵机械&电控解决方案概括及经验分享

0. 写在前面

本文档是2024赛季香港大学轮腿平衡步兵解决方案的介绍以及轮腿研发和调试过程只遇到的问题总结以及经验分享。由于队伍在2024赛季赛季初刚刚解散重组过一次，没有任何电控调试经验和老底可以吃QaQ。一切都是本人从学习can通讯等基础功能开始一点点搓出来的，并没有系统的学习和接受类似培训，水平不高。所以若代码或文档中有低级错误敬请谅解并批评指正（给跪了orzzzzzzzzz）

参数数据

参数	值
整车质量 (最终上场质量)	19.2kg
腿长活动范围	110mm - 330mm
平地极限速度	4m/s
跳跃高度极限	190mm

1. 机械

1.1 电机选型：

1.1.1 关节电机：

- 目前的主流选择有HT04, 达妙8009, MG8016, 宇树A1等，但各有各的优劣势。在此斗胆评价一下各个电机。
 - 达妙8009：**妙！教育优惠很香，纸面数据很顶。但是出轴需要做CNC套轴承固定，我猜没有人想遇到螺丝断在电机里的情况（狗头），体积较大。
 - MG8016：**其实了解不多，目前了解到的只有一个学校在使用，优点在于有类似DJI电机的广播模式，通讯压力小。
 - 宇树A1：**过热....虚标..... 已经是非常喜闻乐见的事情了，但是一大优点就是他内置了高强度轴承，出轴不需要再做CNC套轴承的方式固定。
 - HT04：**我们本赛季的轮腿关节电机选用的是本款电机。当时在24赛季开始之前询问了几个学校都用的是这个就没再犹豫就购入了，后面达妙的教育优惠出来了之后价格香到想让我更换。但是因为当时电控和机械都刚刚起步，我们只想仿照着哈工程玺佬当时的开源一步步复刻出来，因为达妙的外径过大没法复刻哈工程五连杆的长度参数所以就放弃了使用达妙。后面在调试过程中对整个电控解决方案了解之后因为没时间了所以也就没再考虑换电机的事情。但是他也是跟达妙一样，需要对出轴做CNC+轴承固定，小小增加了一下机体重量。另外还有几个被诟病的点是通讯压

力大，单价和维修成本高。当时我们螺丝拧长了，因为电机背面螺纹孔底下没有保护（或者是保护很脆弱一怼就碎）导致电机整个卡死了，去修的话只换一个外壳一个电机就要450软妹币，幸亏没伤到转子，不然费用又要翻翻了。**所以其实不推荐本赛季准备开始研究轮腿的队伍使用HT电机qwq**

1.1.2 轮毂电机：

- 轮毂电机选型可谓是百花齐放，比如武汉工程的宇树GO，HexRoll刚出的3508新减速箱等等等，我这里讲一下我个人对各种电机的看法：
 - **LK MF9025**：属于是轮毂电机的鼻祖了，我们一开始也是使用的这款电机，转速高，价格....就还能接受吧然后对机械也挺友好的。但是我们最后还是换掉了他，因为如果你的机械设计是类似于23年上交开源的那种前后长左右窄的构型，在外径180mm轮子的情况下，上坡可能会有扭矩不足的情况。这让深度信奉力大砖飞的我十分的不爽（（但是如果机械设计的保守一点用它也完全没问题。但要注意的是这个电机外径比较大，如果想要优雅的安装充气轮的话充气轮外径至少要大于等于180mm。
 - **HexRoll3508减速箱**：跟9025比起来就是价格便宜体积变小了，因为扭矩表现差不多，所以我们就没考虑使用这个电机，但是据使用过的学校评价来讲也还可以，没什么问题。
 - **宇树GO**：一个我从来没想过能当轮毂电机的电机（23赛季的时候我还用它当关节xxx）从纸面数据上来看的话转速稍微有些低，但是扭矩肯定管够了（虽然他虚标），机械层面来看轮子固定也很方便，直接拧上去就行。但是因为他是485的通讯协议，新队伍如果想使用他可能要在通讯方面下一些功夫。价格嘛倒是挺友好的，但是由于样本量还是太少，所以还是观望一下吧，不太好做评价。
 - **HT03**：又一个力大砖飞的经典代表。贵，需要CNC+轴承。但是有出轴的话对轮子的选型限制就比较小了，装啥样的轮子都行。虽然是关节电机，但是高速跑、飞坡都没有任何问题。
 - **本末 M1505B**：(注意一定要是B哦，A的转速不够，飞不了坡，最快只能跑2.2m/s) 本赛季我们最终上场使用的电机，扭矩够，转速够，还自带胶轮。机械方面直接拧六颗螺丝就固定上了。至于重量的问题，其实我在从9025换到这个电机之后并没有感受到明显的区别（9025+板件+充气轮我们是900g，M1505B带胶轮1500g），跳15cm台阶完全没问题，重量对控制效果的影响不大。一级就可以上开符点那侧最陡的那个坡。
 - 上交的自制减速箱在用的队伍也比较少，我们出于对队伍机械的维护和装配水平烂的依托的考虑就不用，但是是交用手的一定没问题qwq。

1.2 其他杂七杂八的

- 胶轮还是充气轮？
 - 不同学校可能会有不同的答案。我个人对比过在同一辆车上充气轮调好之后在翻越障碍或者过小弹丸的时候机体明显比胶轮稳定，毕竟充气轮有一定的缓冲能力。所以充气轮 Yes！
- 外八真的会影响控制么？
 - 不会。我们车的连杆还是在用传统的塞打+挡边轴承固定，肉眼可见的外八，但是控制起来没什么问题。
- 五连杆长度参数必须是交或者哈工程的数据么？
 - 不一定。你只要能保证整个结构不存在正常移动过程中可能会达到的奇异点就行，（当然也不能太离谱 给整个无敌大的力臂电机也扛不住）。上交开源的那个参数存在奇异点，但是他的奇异点只有在小腿完全竖直的时候才有可能达到（下限位：我猜你在找我？）

2. 电控

2.1 电控解决方案概括

- 计算平台
 - C板
 - 整体解决方案：
 - 上交LQR + 哈工程VMC
 - 防滑：
 - 二阶卡尔曼滤波对加速度和轮毂速度进行融合
 - 异常状态检测及处理（比如滑铲）：
 - 判断pitch角度若大于某一个阈值就切到小板凳模式，稳住pitch之后再恢复原始腿长。这个方案比较简单暴力，优点是能cover大部分情况。缺点也比较明显，我遇到过很多次误判，以及他的相应时间较长，首先要降低重心然后稳定之后在起身，流程比较多且费时。所以这个解决方案只能治标不治本，个人认为想从根源上解决这个问题目前最优的方案还是上mpc。
 - 功率限制：
 - 因为我们的功率限制是写在超电板子里的 所以这里可能提供不了什么帮助：(

2.2 电控调试经验

2.2.1 个人认为的调试流程

- 先研究出Matlab建模以及调参方式
 - 维护好所有的观测值
 - 维护好指的是确定数据准确，有必要的地方要加滤波
 - 先调小板凳，把轮毂的各项参数极性调对
 - ```

bl_ctrl->torque_info.joint_balancing_torque_L =
 -QR[2][4] * (bl_ctrl->chassis_posture_info.leg_angle_L_set - bl_ctrl->chassis_posture_info.leg_angle_L)
 -QR[2][5] * (
 0.0f
 - bl_ctrl->chassis_posture_info.leg_gyro_L)
 -QR[2][8] * (bl_ctrl->chassis_posture_info.pitch_angle_set - bl_ctrl->chassis_posture_info.pitch_angle)
 +QR[2][9] * (bl_ctrl->chassis_posture_info.pitch_gyro_set - bl_ctrl->chassis_posture_info.pitch_gyro);
bl_ctrl->torque_info.joint_moving_torque_L =
 -QR[2][0] * (bl_ctrl->chassis_posture_info.foot_distance_set - bl_ctrl->chassis_posture_info.foot_distance_K + NORMAL_MODE_WEIGHT_DISTANCE_OFFSET)
 +QR[2][1] * (bl_ctrl->chassis_posture_info.foot_speed_set - bl_ctrl->chassis_posture_info.foot_speed_K)
 +QR[2][2] * (bl_ctrl->chassis_posture_info.yaw_angle_sett - bl_ctrl->chassis_posture_info.yaw_angle)
 +QR[2][3] * (bl_ctrl->chassis_posture_info.yaw_gyro_set - bl_ctrl->chassis_posture_info.yaw_gyro)
);

```
    - 可能是我个人对LQR建模的理解还不够，当所有的观测值的极性都跟建模中统一之后还是发现运动状态不对（其中一种情况就是pitch往一侧偏的时候可以收敛，往另一侧偏就会越跑越快但是收敛不了）。最后的解决方案是把lqr生成的K矩阵所有数都取个ABS，忽略到他建模生成的极性，然后一环一环的调极性。比如把除了pitch angle之外的环全部删掉，看他机体是否有收敛趋向。然后

一个个环往回加达到最后的完整的lqr计算。

4. 加入站立PD，在定腿长下调摆杆各项参数极性
    - 极性调整思路跟轮毂调试极性的方式一样
  5. 加入防劈叉PD，下地测试整体运动姿态是否正常
  6. 加入变腿长lqr计算，根据不同腿长的表现调整QR矩阵
  7. 加入Roll PD等其他pd
  8. 打滑检测，功率限制吧啦吧啦的
- 建议是一点点的往上加，如果一下全部写好出了问题根本不知道是哪的问题 debug起来异常痛苦

## 2.2.2 其他杂七杂八的经验

- 虽然LQR强依赖于模型，但是只要不是很逆天的数据差异其实lqr也可以用。但是如果想达到最理想的效果，必须得按照最真实的数据来建模。
- 若车身质心不在正中央，车可能在不控制的时候往某个方向飘移一小段距离，这是因为他的pitch角度环和位移环在互相制衡最后达到一个稳定的位置。我们实测18cm腿长下会往更重的一侧飘20cm左右。这是一个很正常的现象，曾经我尝试过在位移环加offset解决这个问题，但是发现没什么用（反倒有时候会让控制效果变差。所以最好的解决方案还是在画机械的时候就考虑重心尽可能的剧中设计，我们最后是加配重减弱这个问题的。）
- 因为轮腿状态很多，逻辑关系十分复杂，建议在加入新功能之前把逻辑理好再写，不然写出锅debug要好久好久好久好久
- 善用波形图，波形图可以非常简洁明了的反应各个数据的情况，大大缩减debug时间
- 能校准的电机在上车之前一定要好好校准一下，有的出厂校准很G

## 3. 写在后面

---

感谢大家能够看到这里！因为整理的比较匆忙，目前只总结到了几个比较让我头大的经验。如果有什想要了解的可以加我微信：`LarryZhangqwqq`，大家如果真的看得上我的经验我一定尽我所能为大家分享（哭哭脸）。同时因为能力的问题代码中可能还存在一些各种各样的问题，也烦请大家批评指正，一起进步！！！