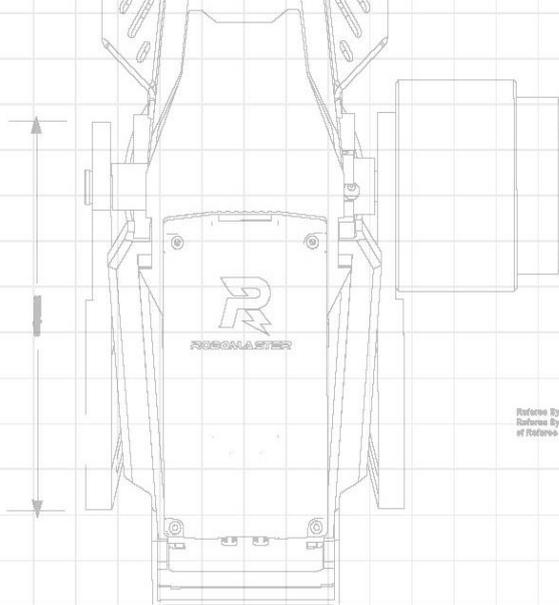




桂林电子科技大学

GUILIN UNIVERSITY OF ELECTRONIC TECHNOLOGY

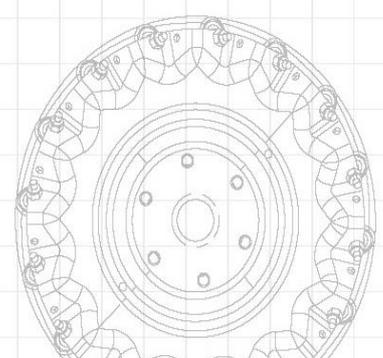
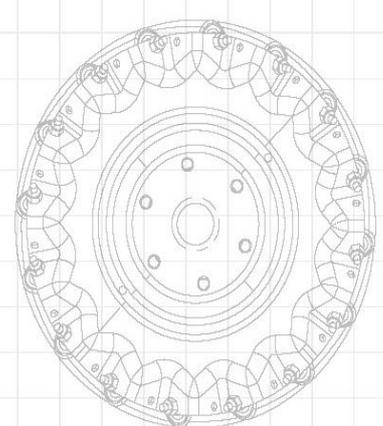
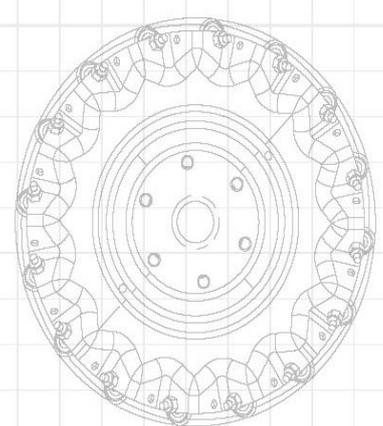
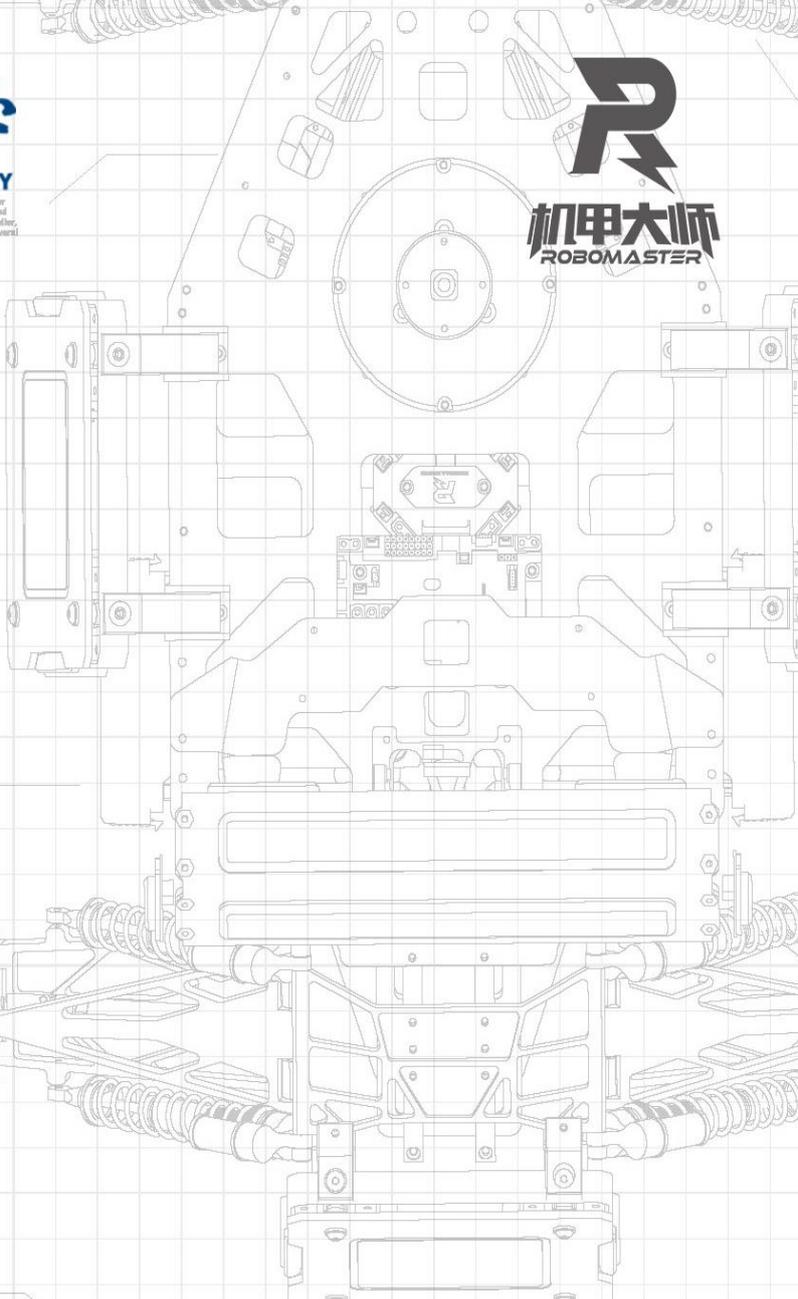
Exclusively developed for the RoboMaster M5003 P19 Brushless DC Motor Motor and C2003 Brushless DC Motor Speed Controller, this is 3S-06 Accessories Kit includes universal cables and a terminal board.



Reference System Specification Manual, Reference System User Manual, Introduction of Reference System is inside



See M5003 Accessories Kit include several cables and a terminal board, creating a complete assembly system when by the independent parts.

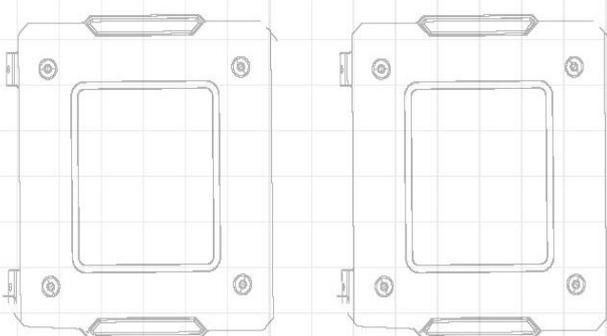


第二十一届全国大学生机器人大赛

ROBOMASTER 2022

高校单项赛

赛季规划



桂林电子科技大学

Evolution战队

编制

目录

1. 规则技术点分析	3
2. 技术方案分析	3
2.1 机械结构方案设计	3
2.2 硬件方案设计	4
2.2.1 硬件整体框图	5
2.2.2 单板硬件说明	7
2.2.3 重要传感器选型说明	7
2.3 软件方案设计	8
2.4 算法方案设计	8
2.5 测试方案设计	9
3. 项目进度计划	10
4. 赛季人力安排	11
4.1 团队架构设计	11
4.2 团队建设思路	12
5. 预算分析	13
5.1 预算估计	13
5.2 资金筹措计划	15
6. 技术方案分析参考文献	16

1. 规则技术点分析

首先对场地进行分析，步兵竞速方面需要依次通过 A、B、C、D 四个点位，地形较为简单，主要是平衡步兵的速度间的比拼；对于增加的能量机关激活点的旋转起伏台，使得平衡步兵在激活能量机关方面的难度相比平地射击会更加艰难。

步兵竞速分为平衡步兵组和普通步兵组，两个组别是相互独立的。而平衡步兵相对于普通步兵来说，底盘功率上限为 100W，相比普通步兵多 20W。这使得在平衡步兵组的比赛中可能会更为激烈。

在竞速过程需要面临一个 17 度的飞坡，这对平衡步兵的车身性能有着很大的挑战，飞过去就能减少大把时间，因此尽可能使平衡步兵具有超级电容，增加飞坡的成功率；在智能射击过程中，平衡步兵的初始弹量为 50 发，这些弹丸的射速需要大致达到 30m/s 才能更精准的进行射击，需要尽快在旋转起伏台上激活能量机关，这对平衡步兵的算法、机械等各项指标都有严格的要求。

2. 技术方案分析

平衡步兵的重点需求在于行进速度和打击神符的准确度。行进速度的大小的关键影响因素是是否选用了一款合适的电机，驱动机器人行进。而且还需要保证底盘功率不会超限。因此电机选型尤为重要；打击神符的准确度是这个比赛的难点所在，因为其对机械、电控、视觉三方面都有很高的要求。首先要求机械的发射机构有一个稳定的弹道，供弹链路顺畅不卡弹、不连发。

2.1 机械结构方案设计

平衡步兵：

2022 赛季 平衡步兵	设计思路
基本形态与特色功能	腿部仿生设计，模仿并改进人类双腿结构，以使机器人能够实现跳跃、空翻和作为主动悬挂等功能；踝关节处放置驱动轮，以使机器人实现基本运动和符合规则要求。

电机选型	<p>关节电机：通过 Adams 仿真可以得到腿部和底盘节点处弹跳时所需最大扭矩和大概姿态，并根据实际，最终选择宇树 A1 电机；轮毂电机选用本末科技轮毂电机。</p>
悬挂设计	<p>关节电机驱动腿部，作为主动悬挂。</p>
腿部设计	<p>由于机器人的重量是依靠仅有的两个腿部轮子支撑的，所以腿部节点处受力较大，因而腿部节点处的连接方式的设计和结构件的选型都要慎重考虑。设计时，尽量让两轮子中心的连线与机器人重心中垂线相交，这要求对腿部的每个组成部分以及腿部和底盘的连接点的尺寸都要精心计算确定下来。上半部分腿部和下半部分腿部连接节点（膝关节）处放置一扭簧以减缓大电机的持续输出扭矩负担。</p>
膝关节设计	<p>膝关节是双足轮式平衡底盘的一处从动关节。此处关节可以没有动力输出，但是我们计划在这里放置一个扭簧，用于减轻关节电机的负担，给关节电机留出扭矩冗余，是机器人跳跃等动作能够快速响应。该设计的重点在于设计处一个扭力合适的扭簧，难点在于消除装配误差带来的扭簧扭矩与理论上的差别，给电控带来控制上的困难。</p>

2.2 硬件方案设计

为了方便维修和管理，我们设计了一套通用性极高的硬件方案。为了适应每个机器人的基本形态，我们对底盘和云台分开，将其看成两个单元。每个单元都由一块分电板和一块主控板组成硬件部分。其中底盘分电板由电池供电，云台分电板又由底盘分电板供电，而云台与底盘的主控之间采用汽车通信中常用的 CANFD 通信。这样的设计可以使用与几乎所有的机器人。不仅可以极大的简化硬件的维修与管理，软件在开发上也可以统一代码方案，机械上也可以将固定电路板此部分器件统一化。这样在各个方面的维修与开发都方便了不少。下面我分别就三种板子进行说明：

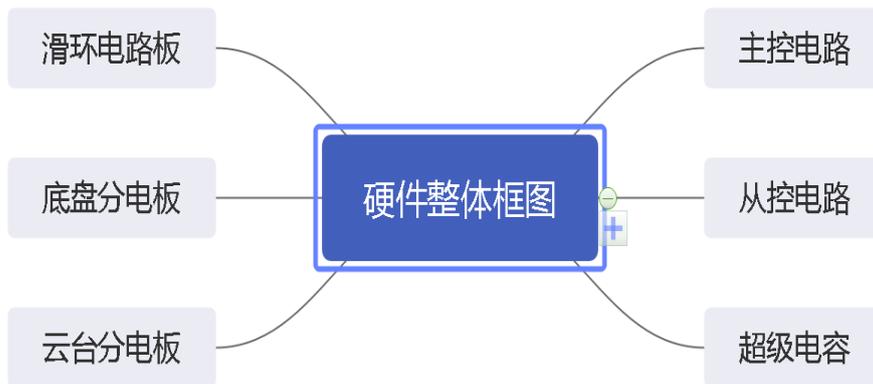
- (1) 底盘分电板：底盘分电板上将电流分为三路：MiniPC、Chassis 和 Gimbal，对应电源管理模块上的三路电源，分电板上还有 CAN 转接口、12V 和 5V 三种接口。保护方面有防反接、防过压和防雷击保护。
- (2) 云台分电板：云台分电板上将电流分为两路：Gimbal 与 MiniPC。其中，Gimbal 由底盘分电板的 Gimbal 路引上来，MiniPC 由底盘分电板上对应的 MiniPC 引上来。除此之外，Gimbal 路还通过一个恒流电源给充能装置供电。同样的分电板上还有 CAN 转接口、12V 与 5V 三种接口。保护方面有防反接、防过压和防雷击保护。
- (3) 主控：主控采用 STM32F427 芯片。其上功能有：串口、D-BUS、SWD、CAN、RS485、CANFD 和 TIM 等。其中 CANFD 需特别说明，因为 STM32F427 没有直接支持

CANFD 与 485 通信的寄存器，于是我们使用 MCP2517FD 芯片将 SPI 通信转为 CANFD。RS485 通信虽然没有用到，不过考虑到 RS485 通信也是电机常用的通信方式之一，为了增加其普适性，我们还是在上面添加了 RS485 通信接口。为了使得主控更加小巧，既能方便安装也能减小信号线上的干扰，特别采用了四层板。保护方面，电源上我们做了防反接、防过压和防雷击保护。信号线上我们做了静电防护。

硬件选型：

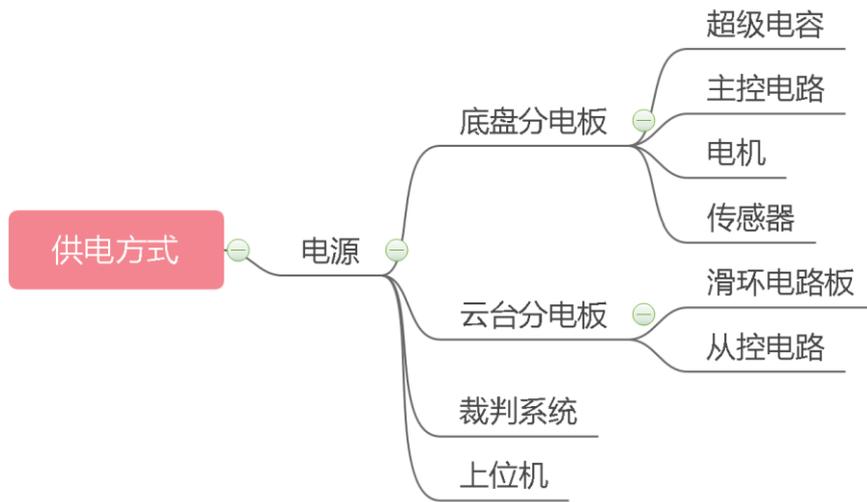
1. 主芯片：因为对电机控制需要 CAN 通信，又考虑到学习成本的问题，我们选用了开源文件较多，且可以满足 CAN 通信功能的 STM32F4 以上系列的芯片。这里详细说明一下我们采用 CANFD 而不是 CAN 进行底盘云台通信的原因。首先 CANFD 的最大传输速率要远高于 CAN，理论最大速率为 8Mbps，并且可变。其次，因为底盘云台间的通信数据量庞大，采用 CAN 通信每帧数据只能包含 8 字节，这导致每一次数据传输需要发多帧数据。这会让主控多次进入中断，不仅导致通信时间变长，而且会让主控 FREERTOS 系统不能最大化利用时间与算力。CANFD 相较于 CAN 一帧数据可以包含 64 字节，一帧数据就可以完成一次数据传输。但是能够支持 CANFD 的主控芯片在 STM 系列只有 H7 可以，但 H7 对于我们来说功能过剩，图像处理功能不需要主控芯片完成，并且成本也相较于 F4 高许多。又考虑了嵌入式软件所要求的 RAM 与 Flash 要求，我们最后选择了 STM32F427+MCP2517FD（SPI 转 CANFD 总线收发芯片）的方案。

2.2.1 硬件整体框图



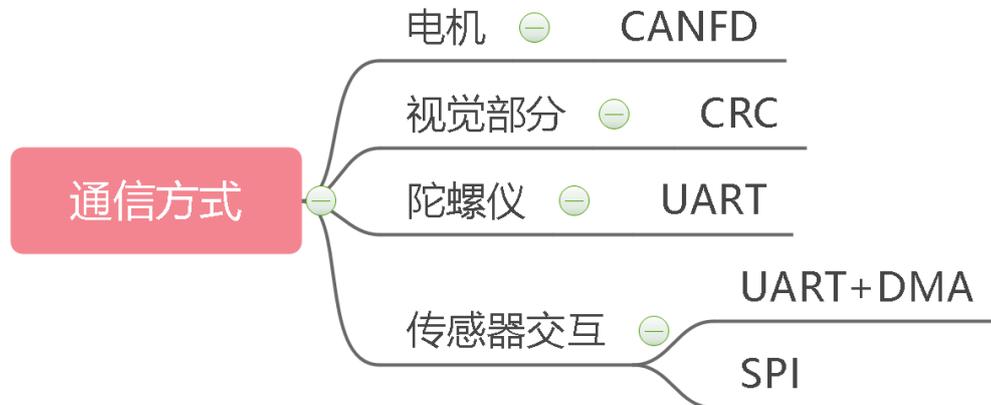
硬件整体由主控电路、从控电路、超级电容、滑环电路板、底盘分电板、云台分电板六大部分组成。

供电方式



供电由 24v 电池供给底盘分电板、云台分电板和裁判系统，底盘分电板给超级电容主控电路和其他传感器以及电机供电，云台分电板给滑环电路板和从控电路板供电，裁判系统和上位机独立供电。

通信方式



主控电路通过 CANFD 来控制电机，视觉部分通过 CRC 校验，陀螺仪通过 UART 串口，传感器通过 UART+DMA 接口和 SPI 接口交互。

2.2.2 单板硬件说明

单板	设计需求	风险评估
底盘分电板	满足各个机器人的供电需求，根据比赛规则对机器人的电压和功率进行限制，方便进行维修，有对各个模块供电接口，输出电压和电流稳定，有过载保护，	底盘分电板部分线路过于暴露，使用时要进行保护
主控板	机器人主要控制版，要有多种通信方式，满足机器人各个模块之间的通信要求。	对供电的要求高，主控芯片有烧毁的风险
陀螺仪板	要求精度高，设计要精致，芯片对陀螺仪数据的能精确的处理。	精密元器件，注意使用保护
滑环板	符合机械设计的要求，对接口接线进行扩展。	无大风险

2.2.3 重要传感器选型说明

陀螺仪（BMI088）：

BMI088 是一款高性能六轴惯性测量单元（IMU），具有高振动稳定性，专为无人机和机器人应用而设计。BMI088 专门设计用于有效抑制由于 PCB 上的共振或整个系统的结构而可能发生的振动。除了高振动稳健性外，BMI088 卓越的温度稳定性有助于提高估算滤波器性能，IMU 具有极宽的 24G 加速度计范围。

BMI088 是一种系统级封装（SiP），将加速度计和陀螺仪组合到一个封装中。BMI088 支持高达 400 kHz 的 I2C 和高达 10 MHz 的 SPI 通信。加速度计和陀螺仪可以单独访问，也可以同步输出数据。BMI088 还具有可编程满量程范围、输出数据速率和中断。

BMI088 优良的性能满足了平衡步兵对姿态数据的要求，使得平衡步兵在平衡姿态和跳跃姿态上的反馈数据更加可靠，使建立的机器人运动模型更加精准。

2.3 软件方案设计

我们将平衡步兵的腿部设计为可弹跳式腿部，通过计算和仿真可以确定腿部和底盘节点处电机所需的最大扭矩从而选取合适的关节电机。通过对关节电机的控制可以实现腿部弯曲然后迅速起跳，跳上台阶。同时为了适应 2022 赛季中大幅增加的盲道，平衡机器人的悬挂被设计为主动悬挂，并且机器人底盘增加了对翻滚轴 ROLL 轴的解算。通过控制关节电机，使机器人腿部进行相应的伸缩，让机器人即使在崎岖不平的道路上依旧能保持翻滚角的相对平稳。

为此我们将进行大量的理论分析和仿真验证，选用了数学模型依赖性较强的 LQR 控制算法，LQR 最优控制对算力要求不高，使用 stm32f4 系列微控制器就能实现，且达到较好的效果，能够正常对机器人的平衡姿态和跳跃姿态进行控制，使机器人能达到符合预期的运动姿态。STM32F427VIT6 的 2M 的 FLASH 以及 256KB 的 RAM 已经能够满足系统需求。

在通信方面，主要采用 can 通信协议和 RS485 通信协议。比赛场地复杂，各种干扰较强，使用差分信号通信链路能大幅降低共模干扰对通信的影响。

测试方法为：通过陀螺仪等传感器记录机器人运动姿态数据，将其与仿真数据进行拟合对比，根据拟合程度进行相应调整或重新建模。

2.4 算法方案设计

对于高校单项赛，平衡步兵的挑战项目为步兵竞速与智能射击。其中最重要的是击打能量机关部分。对于击打能量机关的算法设计如下：

- 1、识别部分：使用最小外接矩形，保存第一次的两个矩形面积，大的面积是装甲板面积，小的面积是圆心 R 面积。通过保存的面积来筛选装甲板和圆心 R。最后通过圆心与装甲板中心连线之间黑白像素点来判断装甲板是否应该击打。
- 2、预测部分：通过 N 个采样点，然后与我们自己遍历的正弦函数和余弦函数进行内积，得到相关性最大的周期，通过采样频率得到神符三角函数的频率，进而得到角速度。然后通过得到正弦余弦函数内积之后得到的数，通过反向正切函数，得到相位。对于上下移动的问题，假设自身不动，神符上下移动，识别圆心 R 通过上下速度来进行预测。

2.5 测试方案设计

组别	测试前提情况	测试方案	
机械组	鉴于平衡步兵定义的特殊性，其在不上电的情况下，无法保持平衡状态，并且我们希望其能够跳跃200mm台阶，因此平衡步兵更容易“翻车”。	机器人结构强度测试	将平衡步兵从环形高地的高度，自由落体，掉到地胶地面上，要求机器人机构没有严重受损、裁判系统正常工作、控制电路能够正常工作、云台发射机构能够正常发射弹丸。
电控组	先经过 MATLAB 仿真，验证模型的可行性，然后通过模型设计相应程序，最后使用机器人实物进行测试。	平衡测试	让机器人在平整地面保持平衡态进行运动，若其能完成完整运动且倒地后能快速回复平衡态，则平衡功能正常。
		主动悬挂测试	让平衡功能正常的平衡机器人在最大高度差约为20mm的崎岖不平的道路上运动，若图传显示无大幅抖动，则主动悬挂功能正常。
		跳跃测试	让平衡机器人实现跳跃功能，若其能实现跳跃，并且能够跳上200mm的台阶，则跳跃功能可正常实现。

视觉组	对于高校单项赛，平衡步兵得挑战项目为步兵竞速与智能射击。其中最重要的是击打能量机关部分。	识别部分	通过多次不同光照条件下对神符进行识别，测试视觉识别鲁棒性。更换相机镜头，寻找对于击打能量机关而言与视觉代码最契合的镜头焦距。
		预测部分	通过实际击打开启的能量机关，在识别部分稳定的情况下根据实际激活效果对预测代码进行优化改进。

3. 项目进度计划

开发阶段	项目初级阶段	项目中级阶段	项目收尾阶段
报告时间	2021年9月初-10月中旬	2021年10月中旬-11月中旬	2021年11月中旬-2022年2月中旬
主要内容	<p>机械：主要设计平衡步兵的机械结构和绘制底盘图纸和学习Adams仿真。</p> <p>电控：主要学习平衡步兵所使用的控制算法原理和MATLAB等仿真软件的使用。</p>	<p>机械：主要完成平衡步兵Adams仿真并根据仿真结果调整结构，然后制造完整实物。</p> <p>电控：主要进行平衡步兵的控制系统分析和仿真，然后根据结果构建平衡步兵的控制代码。</p>	<p>机械：深度学习借鉴其他优秀结构，尝试优化当前结构。并根据电控调试反馈优化方案和版本迭代。</p> <p>电控：主要调试平衡步兵，使其能够完成预期的完整运动。并记录测试数据，与机械讨论优化方案和版本迭代。</p>

阶段任务	<p>①第一周：上网查找相关文献学习，并确定第一版平衡步兵方案。</p> <p>②第二周：进行相关理论学习。</p> <p>③第三周：完成理论分析和计算，确定第一版平衡步兵结构的各项参数。</p> <p>④第四周：机械画第一版底盘图纸，电控学习相关控制算法。</p> <p>⑤第五周：机械学习Adams 仿真，电控继续学习控制算法。</p> <p>⑥第六周：机械机械学习 Adams 仿真，电控学习 MATLAB 仿真。</p>	<p>①第一周：机械进行Adams 仿真，电控进行控制系统分析。</p> <p>②第二周：机械根据仿真结果调整结果，电控开始控制系统仿真。</p> <p>③第三周：机械再次仿真和调整，电控开始构建代码框架。</p> <p>④第四周：机械出完整底盘，电控构建完整代码。</p>	<p>①第一、二周：机械开始学习借鉴其他优秀结构，电控将平衡步兵调整至各模块能正常工作，并且可以运动。</p> <p>②第三、四周：电控将平衡步兵调试至能平衡运动。</p> <p>③第五、六周：电控将平衡步兵调试至 roll 轴稳定。</p> <p>④第七、八周：电控将平衡步兵调试至可以实现跳跃。</p> <p>⑤第九、十周：装上云台，电控稍加调试后测试整体效果。机械根据反馈进行结构优化。</p> <p>⑥第十一、十二周：平衡步兵开始第一次版本迭代。</p>
-------------	--	---	---

4. 赛季人力安排

本赛季中，步兵单项赛（平衡步兵组）的团队人员为 7 人，分别负责机械、电控、视觉、运营和操作等。

4.1 团队架构设计

角色	人员	人员要求
指导老师	唐亮	<ol style="list-style-type: none"> 负责战队的人身财产安全； 申请、整合和指导赛季战队的经费等资源的使用； 督促、监管战队的项目进度；
顾问	电控：马伊龙 机械：谢一源 视觉：李承蒙 操作手：梁业河	<ol style="list-style-type: none"> 给队伍提供战略、技术、管理等指导与支持； 把控机器人研发的方向和技术评定； 机器人的前瞻性探索； 进行队员技术上的答疑解惑。
队长	梁睿哲	<ol style="list-style-type: none"> 负责赛季的规划； 负责赛季的战队战术安排和调整；

		<ul style="list-style-type: none"> 3. 负责战队人员分工、统筹； 4. 负责与校内外的交流工作
项目管理	林俏锦	<ul style="list-style-type: none"> 1. 负责技术部门人员的分工统 筹； 2. 负责对研发项目进度的整体把 控； 3. 负责综合考量项目成本及风 险； 4. 协调队长进行队内管理工作。
机械	唐生	<ul style="list-style-type: none"> 1. 机器人机械结构的设计和优化； 2. 零件的加工和组装调试等；
电控	彭源、王鑫	<ul style="list-style-type: none"> 1. 构建英雄机器人代码； 2. 机器人软硬件设计和检修维护等。
视觉	莫祖刚、熊海东	<ul style="list-style-type: none"> 1. 机器人所搭载计算机系统的开发； 2. 机器人视觉识别功能的开发和调试改等。
操作手	廖霄昶	<ul style="list-style-type: none"> 1. 英雄机器人的实战训练； 2. 战斗策略的制定和技术传承； 3. 机器人性能的反馈等。
运营	姚水连	<ul style="list-style-type: none"> 1. 训练安排； 2. 宣传招商等。

4.2 团队建设思路

团队建设中最主要的是建设团队文化。团队文化是指团队成员在互相合作的过程中，为实现各自的人生价值，并为完成团队共同目标而形成的一种潜意识文化。文化是团队的灵魂，是团队的无形资产，也是其他团队难以模仿的核心资源。团队文化一旦形成，便会强烈地支配着团队队员的思想和行为。一个团队能否有意识地建设和传播团队文化，并使团队文化深入人心，从根本上决定着团队的命运和前途。因此，打造和完善良好的团队文化是非常必要和重要的。建设团队文化，首先团队中的每个人都应该重视规章制度的建设，个人的责任需承担起来。一个团队中有了严明的规章制度、分工明确的职责和每个人都自觉遵循安排的统一，才能保障团队高效率、高质量的工作效果。心态沉稳的操作手组、勤奋踏实的机械组、高效耐心的电控组、务实稳定的视觉组、脚踏实地的运营组、思维活跃的创新创业部，构成了我们的庞大队伍，个人态度认真、脚踏实地；各组之间互相沟通协作、共同备赛。健全队内规章制度，可以促使整个团队发挥出更好的整体效能，一步一步朝向更高更强的水平

发展。

再者，团队氛围的营造是保障团队凝聚力的重要条件。团队的氛围是由队员们在日常互动学习交流中不断形成的。良好的团队氛围有利于队员们可以身心愉悦地工作，增强队伍凝聚力，激发团队创造热情，促使团体工作质量得到显著提高。为营造良好的团队氛围，团队每年会组织一定次数的团建，每周会召开全体总结大会；无论是办公间中激烈的讨论声，还是饭桌上喧嚣的欢笑声，无不体现着我们团队和谐的氛围。来自五湖四海的队员们齐聚一堂，为了共同的机甲大师梦努力奋斗，为彼此的青春增添浓墨重彩的一笔。

除了精神上的建设，物质上的文化建设同样是不可或缺的。将丰富有趣的精神文化化为实物，在日常工作和学习中同样可以激励队员。为此我们制作了 RoboMaster 相关照片墙；一届又一届队员们在实验室中砥砺奋斗、热血沸腾的身影，被一张张照片定格在办公间的墙上；外出比赛的奖杯和奖状排列在侧；战队口号“勇者无畏，强者无敌”也悬挂于办公间正中央……在办公间的每时每刻，这些实物无不提醒着队员们要努力工作，继续到后来的比赛中去博得战队的荣耀。

最后，要使一个队伍的团队文化永存，传承和发扬便是必不可少的环节。对 Evolution 来说，老队员的技术性传承是非常重要的，他们会把自己所积累的经验毫无保留地传授给新队员，新队员不仅仅要将老队员传授下的经验内化成自己的知识，更要从经验中总结反思，敢于创新；积极参与入团队的文化建设中，并随着时间一步步真正地深刻理解本战队的文化，真正地融入进团队中。老队员兢兢业业，新队员自律敢闯，如此，赛季更迭，人员变换，不变的是团队中互帮互助、相互尊重的优良习惯，才将荣耀延续下去。

归根结底，要使一个团队实现可持续发展，需要每个队员都付出自己的努力，共同为维持和谐的人际关系、构造良好的团队氛围、创造新奇的实体设计、为战队的荣誉而努力奋斗，并肩前进。

5. 预算分析

电控主要物资为：官方物资、电机、电调、舵机、电滑环、电池、线材和传感器；

视觉主要物资为：Mini-PC、工业相机和转接线材；

机械主要物资为：官方物资、板材、机加件、打印件、标准件、紧固件和轮子。

5.1 预算估计

平衡步兵机器人	彭源唐生	底盘	官方元件	RoboMaster M3508 P19 直流无刷减速电机	2	个	599
				RoboMaster C620 无刷电机调速器	5	个	1197
				TB47D 电池	1	个	1359
				RoboMaster 电池架（兼容型）	1	个	199

2					RoboMaster 机器人专用遥控器套装	1	个	629
				非官方成品模块	关节电机	2	个	5000
					橡胶轮	2	个	360
				机加工	机加件	1	项	500
					铝方管	1	项	200
				标准件	螺钉	1	项	100
					轴承	1	项	200
				特种加工	3D 打印件	1	项	200
					线切割件	1	项	300
				硬件加工	PCB 制版	1	项	100
			板材	玻纤板	1	项	200	
				碳纤维板	1	项	500	
			云台	官方元件	RoboMaster M3508 P19 直流无刷减速电机	2	个	599
					RoboMaster C620 无刷电机调速器	2	个	479
					RoboMaster M2006 P36 直流无刷减速电机	2	个	311
					RoboMaster C610 无刷电机调速器	2	个	191
					RoboMaster 红点激光器	1	个	83
				非官方成品模块	摩擦轮	2	个	360
					NVIDIA jetson NX	1	个	6640

					大华工业相机	1	个	2580
			机加工		机加件	1	项	500
			标准件		螺钉	1	项	50
					轴承	1	项	150
			特种加工		3D 打印件	1	项	200
					线切割件	1	项	350
			硬件加工		PCB 制版	1	项	100
			板材		玻纤板	1	项	100
					碳纤维板	1	项	500
合计（单台）						24835		

5.2 资金筹措计划

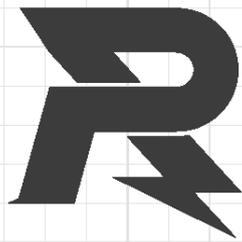
来源项	预计金额	筹措思路
学校赞助经费	30000	参加“Robomaster 机甲大师高校单项赛”、参加“全国大学生电子设计竞赛”、参加“中国大学生工程实践与创新大赛”、参加“中国教育机器人大赛”、论文专利申请等。

招商赞助经费	5000	寻找一些需要机械、电子或视觉方面技术型人才的公司，并向其介绍这个比赛，并介绍本实验室的学习和研发方向和成果，同时表达我们实验室成员毕业就业的意向，寻求该公司的支持和赞助。
--------	------	---

6. 技术方案分析参考文献

参考文献	收获点分析
[1] 罗纯静, 罗华, 何飞, 等. 基于 ADAMS 的自平衡物流机器人仿真 [J]. 现代制造工程, 2014(2):28-31.	利用 ADAMS 仿真可大致验证机器人方案的可行性, 相比于上个赛季的盲调可减少了很多不必要的工作。
[2] 胡凌燕, 徐源春, 徐少平, 等. 基于卡尔曼滤波和线性二次型调节的两轮巡检机器人 [J]. 计算机工程, 2016, 42(1):304-310.	卡尔曼滤波配合线性二次型调节, 可以大幅改善系统的稳定性和运动姿态的准确性。
[3] 高志伟, 代学武. 自平衡小车 LQR-PID 平衡与路径跟踪控制器设计 [J]. 控制工程, 2020, 27(4):708-714.	LQR 最优控制能在建立精确数学模型的情况下使系统快速达到预期。
[4] 何百岳, 张文安, 基于无逆 Kalman 滤波器的姿态估计算法 [J]. 高技术通讯, 2021-10-15:1027-1036.	Kalman 滤波器能估计测量数据的大致变化, 使得运动姿态更加平稳。
官方发弹延迟测试软件开源	了解到了官方发弹延迟的测试原理及方法, 为日常调试提供了一种测试方案。
RM21-哈尔滨理工大学荣成校区-SPARK 战队-平衡步兵-机械综合	该开源方案提供了完整的轮足式设计思路。给平衡步兵机器人的设计提供了很好的样板。大大缩短了机械机构设计时间。

[1]吴星超. 某电动源发射系统关键问题研究 [D]. 南京理工大学, 2014.	发射机构相关的理论研究。
[1]潘希祥, 徐坤, 王耀兵, 丁希仑. 具有悬挂系统的轮腿式机器人设计与分析[J]. 机器人, 2018, 40(03):309-320. DOI:10.13973/j.cnki.robot.170430.	平衡步兵腿部结构设计参考。悬挂的设计减轻了关节电机的负载, 提高相应速度。
[1]Digital Image Processing [M].Elsevier Ltd:2006-01-01.	各类计算机视觉算法学习
官网论坛网站	了解 RM 视觉相关需求
视觉算法详细讲解	学习 RM 视觉相关需求细节
四川大学视觉算法代码 开源	参考其他学校视觉代码框架等
RM2016 视觉 开源	参考其他学校视觉代码框架等
基于官方数据集目标检测训练代码 开源	获取数据集进行深度学习训练



邮箱: robomaster@dji.com

论坛: <http://bbs.robomaster.com>

官网: <http://www.robomaster.com>

电话: 0755-36383255 (周一至周五10:30-19:30)

地址: 广东省深圳市南山区西丽镇茶光路1089号集成电路设计应用产业园2楼202