

V3.0

Using a 32-bit motor driver chip and
Field-Oriented Control (FOC), the
RoboMaster C20 Brushless DC Motor Speed
Controller enables precise control over motor
torque.



Exclusively designed for the RoboMaster
M600S P10 Brushless DC Motor and
C20 Brushless DC Motor Speed Controller,
this M600S Accessory Kit includes power
cables and a terminal board.

RoboMaster System Specification Manual,
RoboMaster System User Manual, Introduction
of RoboMaster System Module

The M600S Accessory Kit includes power
cables and a terminal board, covering a
complete accessible system solution for four
independent robots.

ROBOMASTER 2021

高校系列赛

英雄机器人技术报告

DUT凌BUG战队 编制
2021年8月

目录

设计思路

主要技术参数

工艺与技术

接线拓扑

代码设计

操作与交互

动态 UI

激光测距云台

开发工具

参考文献

设计思路

机器人指标标定

机器人战场定位

大工英雄机器人的战场定位是游走的狙击手，其应当尽量避免正面冲突，通过寻找对手防守的漏洞，对建筑物进行打击。

机器人战术标定

英雄机器人是本队的战术核心，步兵机器人配合工程机器人确保英雄机器人有足够的生存空间。步兵机器人将配合英雄机器人的经济进行前压或绕后。英雄机器人在确保自身安全的前提下，占领增益点，将火力尽可能倾泻在建筑物上。大多数情况下英雄机器人应当首先确保生存并节省弹丸，在非紧急情况下不对除哨兵外敌方地面单位发起攻击。

性能指标

在步兵机器人中近距离超高爆发与英雄机器人小陀螺转速普遍不快的背景下，对目标进行远距离吊射几乎是英雄确保生存的唯一选择。

这就要求英雄机器人选择弹速优先并且有极优的弹丸散布。综合 2/3 号高地到前哨站的距离，弹丸应当在 10m 距离上散布不超过一块小装甲板。

三十六计，走为上策。英雄机器人应当具有良好的机动性能，在面对 20cm 台阶时从容不迫，具有上下所有斜坡的能力并可以飞坡;为应对反小陀螺，还应当尽量加快转速；整车重量应控制在 20kg 以下并尽量缩小尺寸。

整车的元器件应当可以快速更换，滑环一旦出现故障可以迅速换新或者牺牲小陀螺保证线路正常。

机械设计思路

本赛季英雄机器人更侧重与推塔带线，大工英雄机器人在迭代的基础上注重优化发射机构及限位机构，减小弹丸散度，同时提高稳定性。并为减小整车尺寸和重量做轻量化，紧凑化设计，使机器人能够提高性能，战场上完成各种预定动作和战术，在安装防倾轮的情况下较稳定的飞坡。

电控设计思路

大工英雄机器人电控设计思路随赛季发展迭代，其设计逐渐由确保功能提升到高稳定性与拓展性共生。为实现较高的拓展性与稳定性，元器件布局与程序设计几

经优化，最终定形为元器件与程序双模块化。如此布局使得检修与模块更换难度大大降低，新传感器与算法的部署也非常便捷。

主要技术参数

物理尺寸

质量

22kg

尺寸

长 615mm

宽 535mm

高 600mm

重心高度

180mm

为实现稳定小陀螺，英雄机器人采用下供弹设计，云台位于底盘正上方，2 自由度，yaw 轴与底盘几何中心轴重合，云台重心与 yaw 轴重合。

电路参数

功率

底盘

静止 2.8w

峰值 150w

云台

静止 2.0w

峰值 20w

为提高英雄机器人表现，底盘功率几乎只由电容取
电限制

超级电容

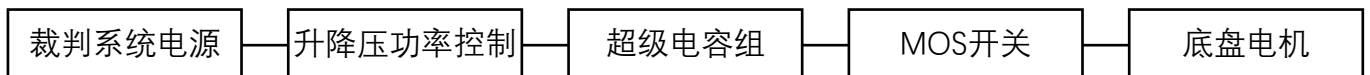
采用 DUT@cyc3.5 代超级电容

容量 5F@27V

工作电压 9V~25V

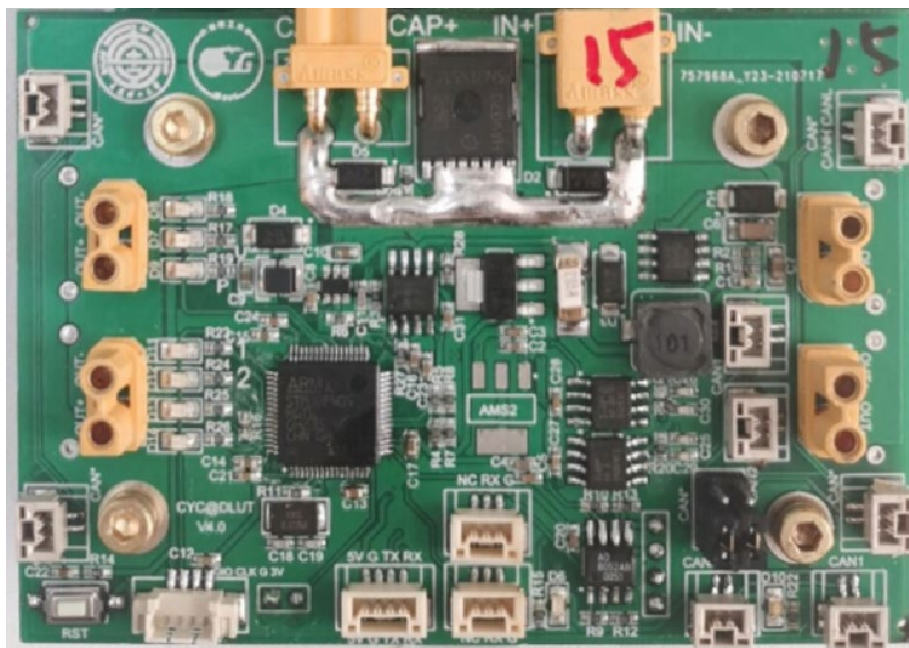
效率 97%

待机功耗 <0.8W

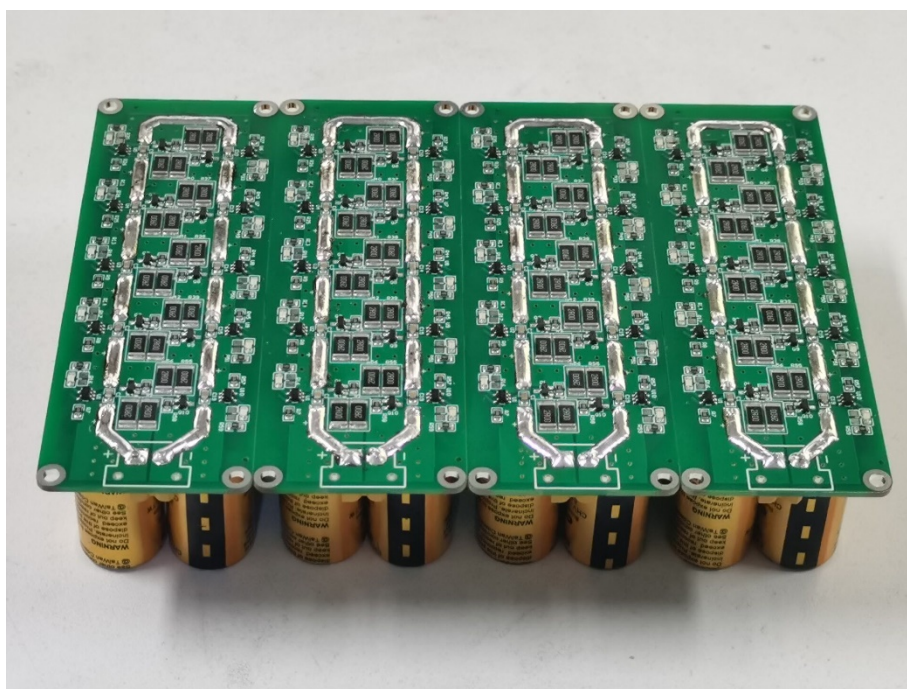


- 与机器人主控并联读取裁判系统串口，缓冲能量闭环，稳定剩余 15J 左右
- 代替中心板，减少线损
- 底盘电机 CAN 通信指示灯、输出电压功率指示灯、裁判系统串口读取指示灯
- 双路 CAN，可以将底盘电机速度闭环交给此控

制板，减少过滑环的 CAN 线负载率



超级电容控制板



超级电容组

- 10 串 2.7V 50F
- 分容配对，优选 56F

- 镀锡布线，减小布线电阻

传感器选择

BMI088 板载陀螺仪 1 块

MAT-L1 激光测距模块 1 个

执行元件

M3508 电机 7 个

底盘 4 个更换 1:14 减速箱

摩擦轮 2 个拆除减速箱

拨弹 1 个原装减速箱

C620 电调 7 个

GM6020 电机 2 个

MG90S 舵机 1 个

接线端子

Amass 3.5mm 香蕉头 50 对

Amass XT30U 插 头 10 对

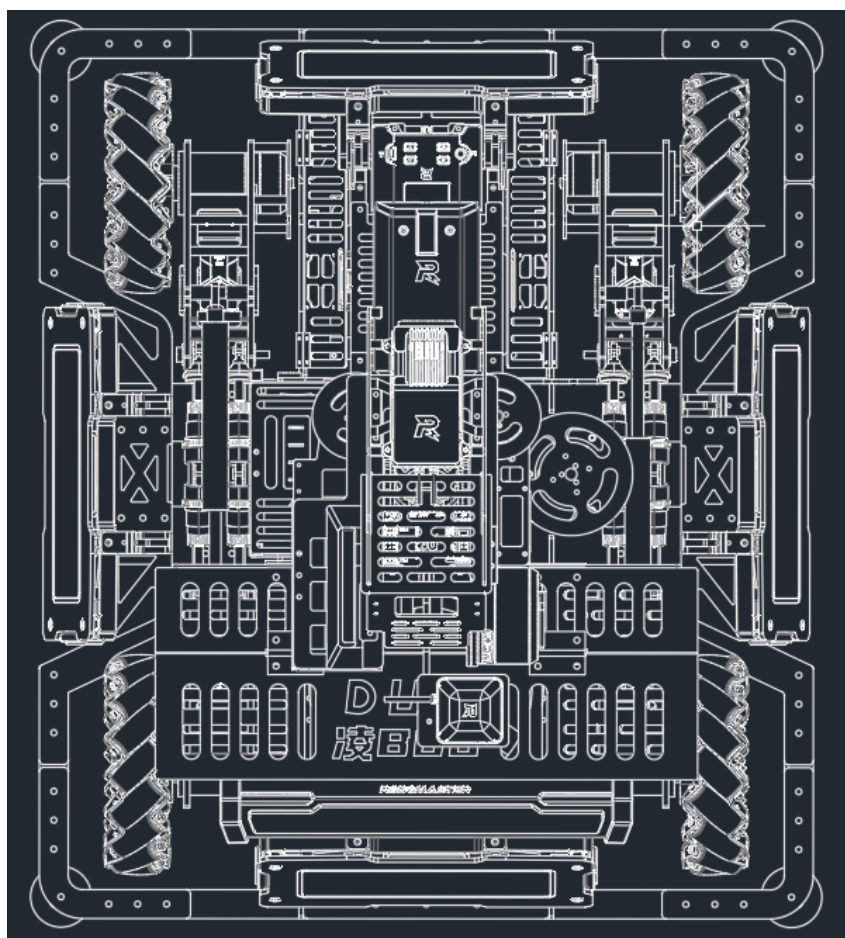
Amass XT60U 插 头 3 对

香蕉头的大量使用给予了走线极高的灵活性，线材更换变得快捷，并实现了“快速换头手术”

工艺与技术

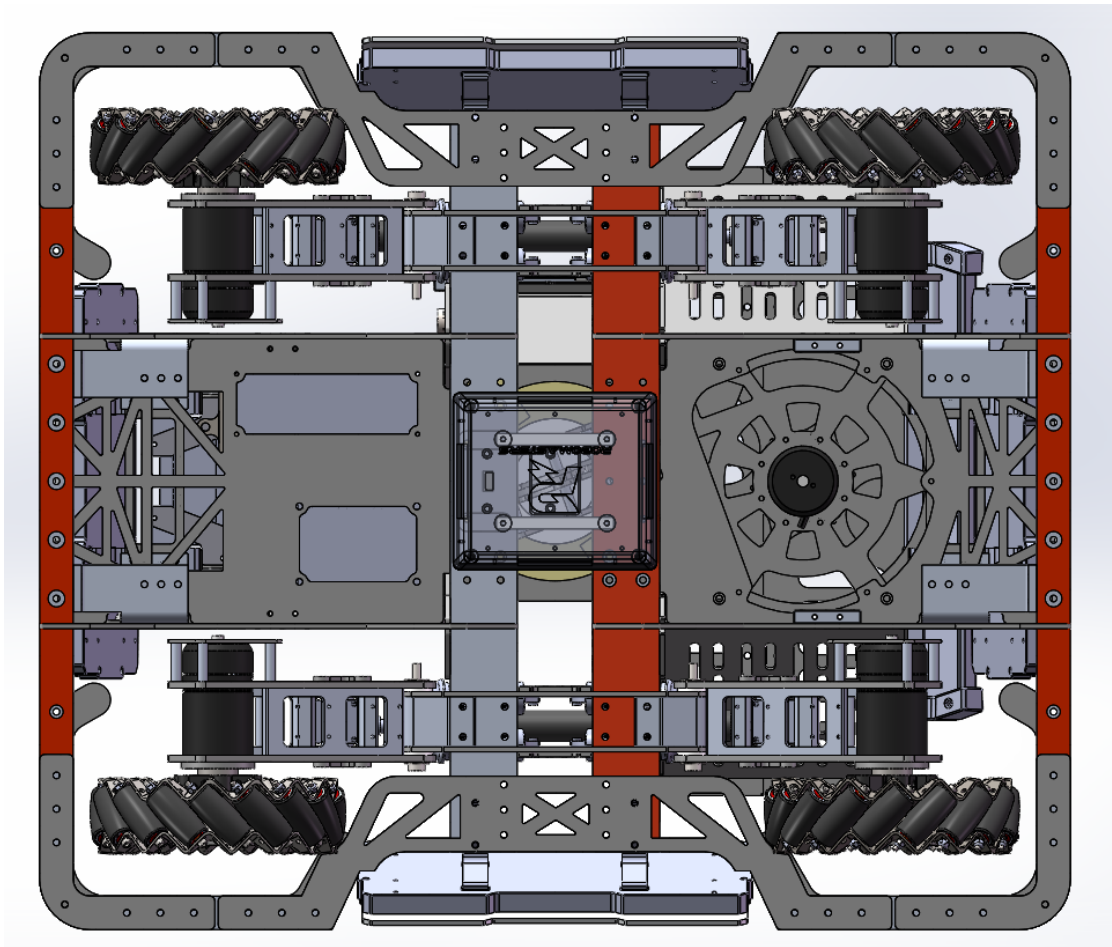
机械结构设计

英雄整体方案

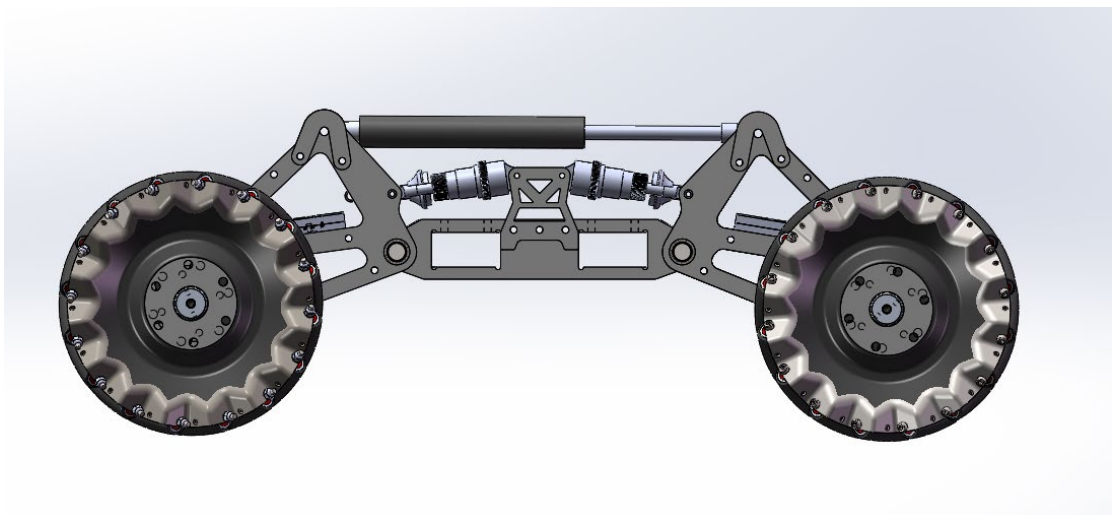


本车在迭代的基础上，提高稳定性的同时尽可能减小整车尺寸和重量，以提高性能，完成在战场上的各种预定动作和战术。

悬挂系统与底盘



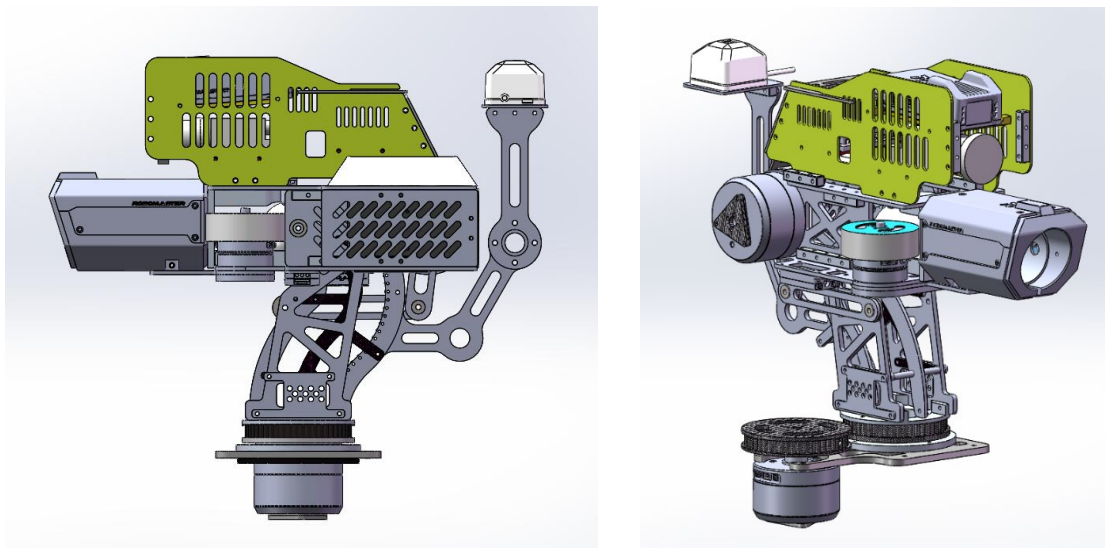
底盘妙用拼插结构与铝件连接，保证强度的同时最大限度减轻重量。



悬挂系统采用自主研发的自适应悬挂系统，由于目前底盘尺寸和重量受自适应悬挂限制，对悬挂系统做了

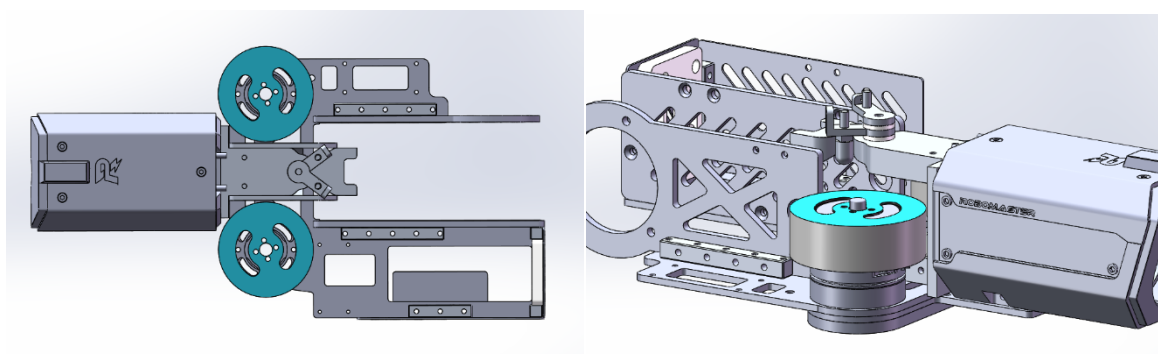
轻量化，紧凑化设计；该悬挂在上斜坡，飞坡等工况中表现出较高性能。

云台



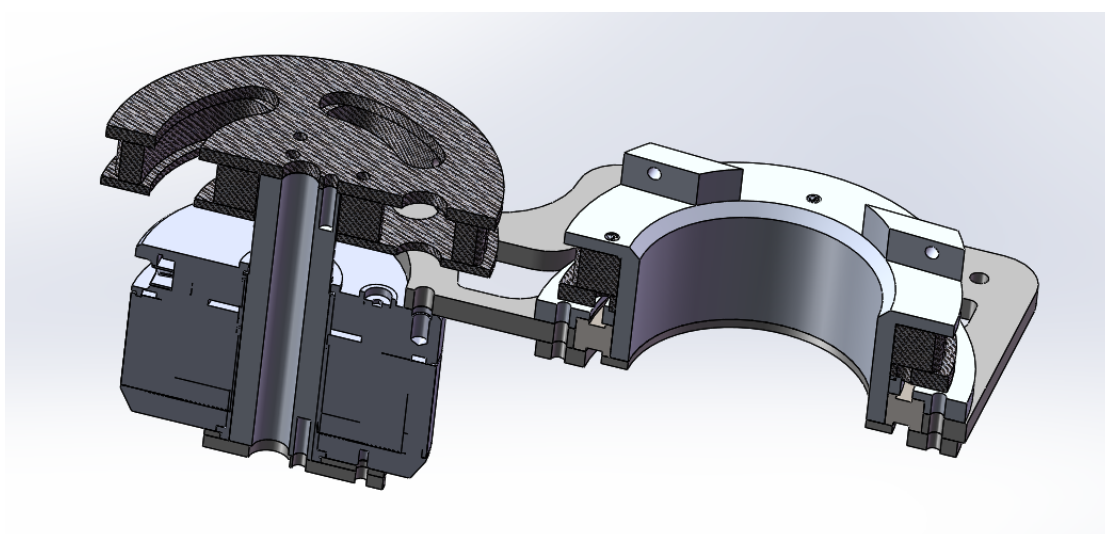
Pitch 轴和 yaw 轴各使用 1 个 GM6020 电机控制。其中 pitch 轴使用平行四边形的四杆机构控制俯仰角，GM6020 后移平衡云台重心与 yaw 轴重合；yaw 轴使用 10A18 路大滑环，滑环内部走弹，yaw 轴通过同步带与 GM6020 连接。

发射机构

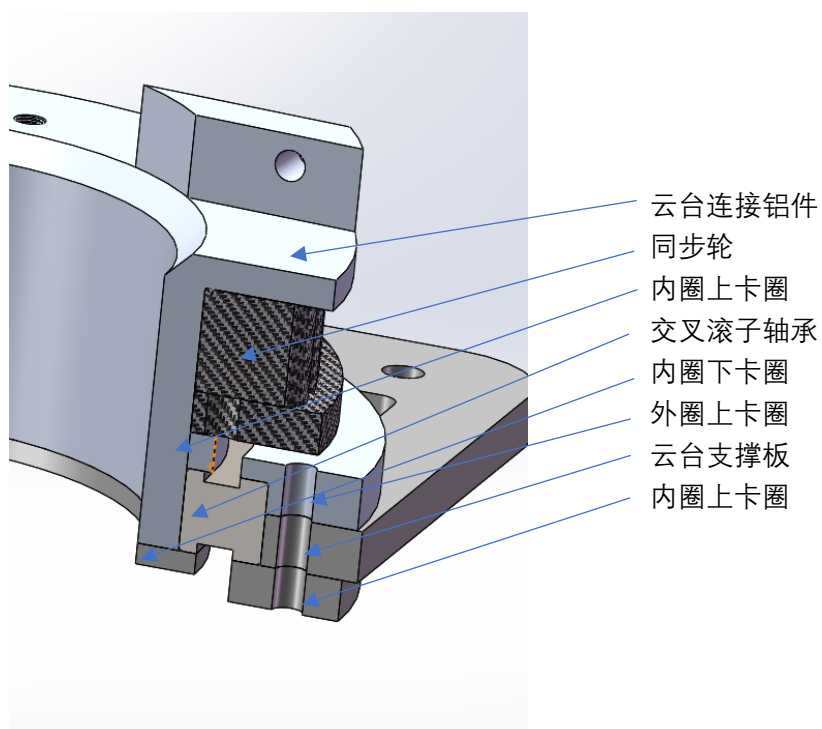


发射采用去除减速箱的 3508 电机与直型摩擦轮，发射限位为带弹簧的推杆设计，弹丸恰好在通过限位后接触摩擦轮，提高发射稳定性。

Yaw 轴设计



Yaw 轴使用交叉滚子轴承，替代滚动轴承与推力轴承组合。



工艺选择

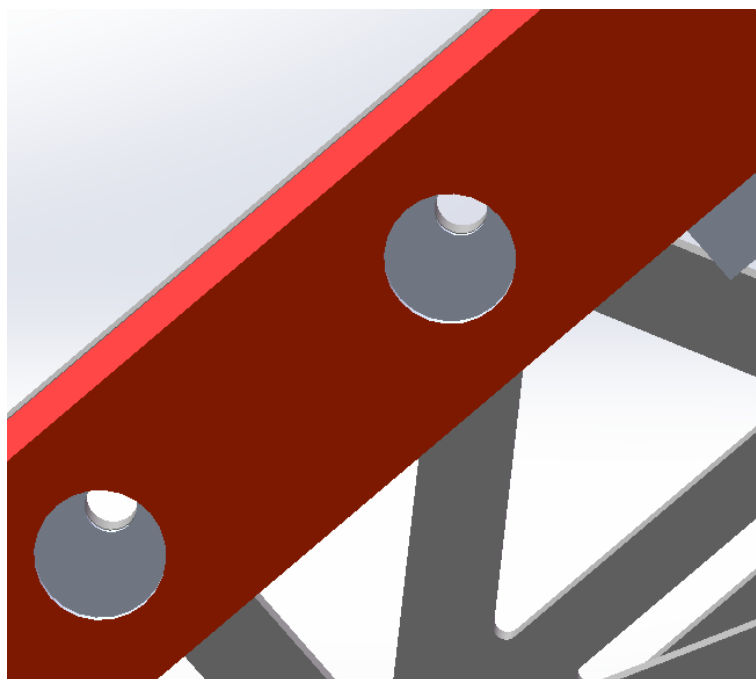
整车主要采用碳纤维板材和 6061 铝方管及铝件，主要工艺为 2D 雕刻，车铣加工等，部分为保证精度外包工厂加工，部分使用实验室的铣床、车床、3D 打印机等自主加工。

由于钣金件精度不够，铝件价格贵且精度亦有不足，尽量减少钣金件和铝件的使用。必要的钣金件按照铝件的标准外包加工。

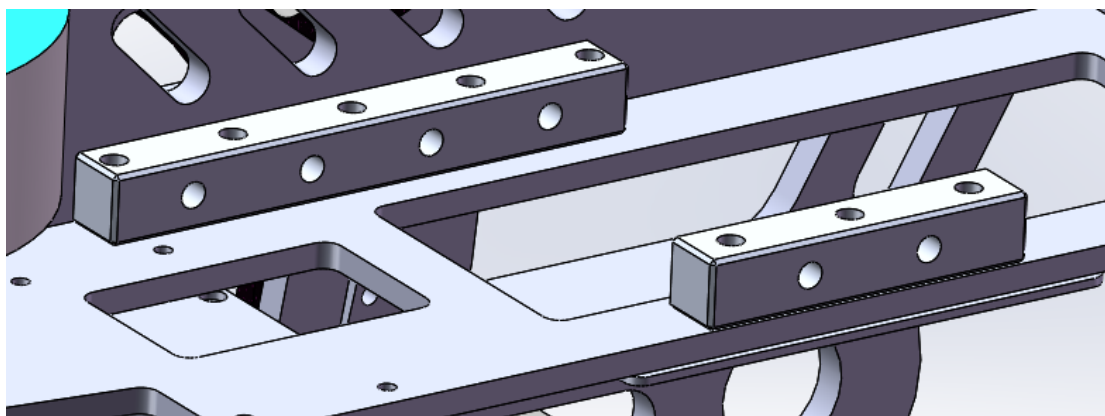
在装配过程中，对于有疑问的板材，可以先切割价格低廉的亚克力做实验，合适后再铣碳纤维板。

装配与连接

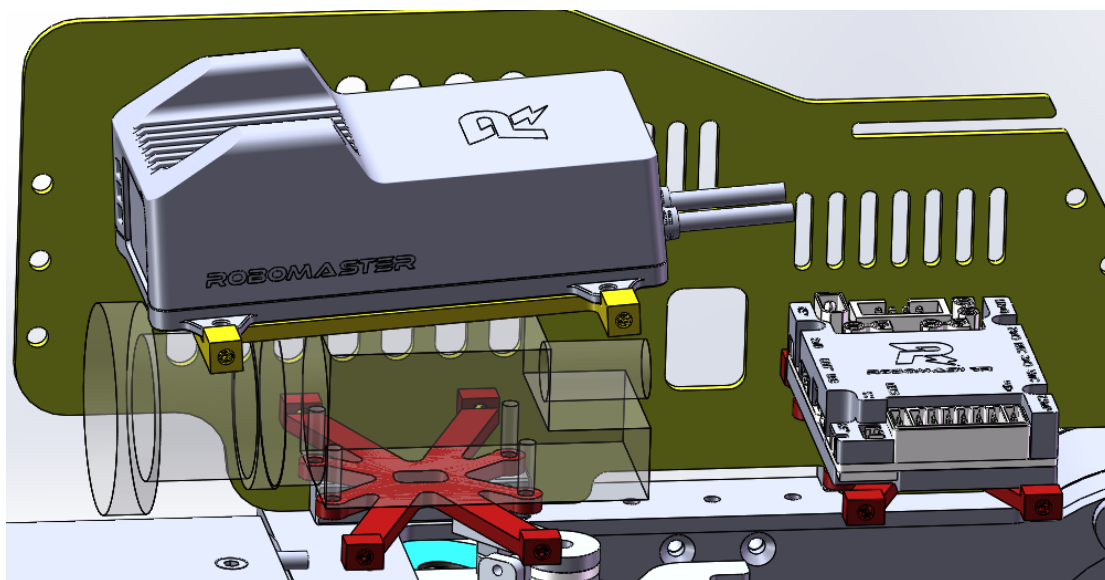
整车大部分采用螺丝螺纹、螺丝螺母的连接方式。



本车为减小重量车架使用了 6061 铝方管。由于铝方管受两侧挤压力容易产生形变，在与板材连接时拓宽另一侧的通孔，螺丝穿过将一侧铝方管管壁与板材夹紧。



为便于板材的直角连接，提高稳定性，大量使用了自主研发的直角连接件，可以在各车之间通用，方便快捷。



C 板、图传模块、摄像头等通过铝件架固定在云台上，方便快捷，便于拆卸和布线。

悬挂机构动力学分析

表1 各个构件的辨识^①

构件个数 ^①	活动构件个数 ^②	机架 ^③	原动件 ^④	执行构件 ^⑤
13 个 ^⑥	n=12 ^⑦	车架(6) ^⑧	凸轮(12、13) ^⑨	车架悬挂系统 ^⑩

所选悬挂机构的机构简图如图 4 所示:

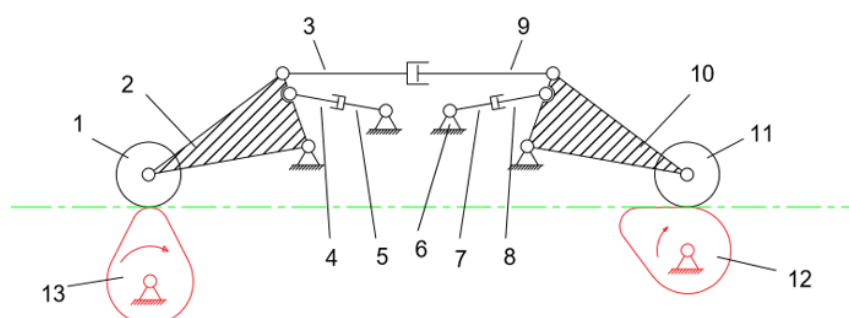
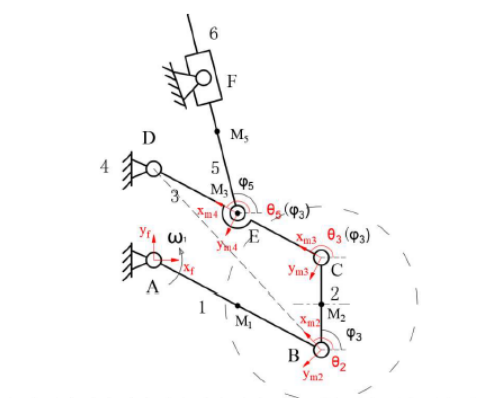


图 4:机构简图

表2 辨识运动副和自由度计算^①

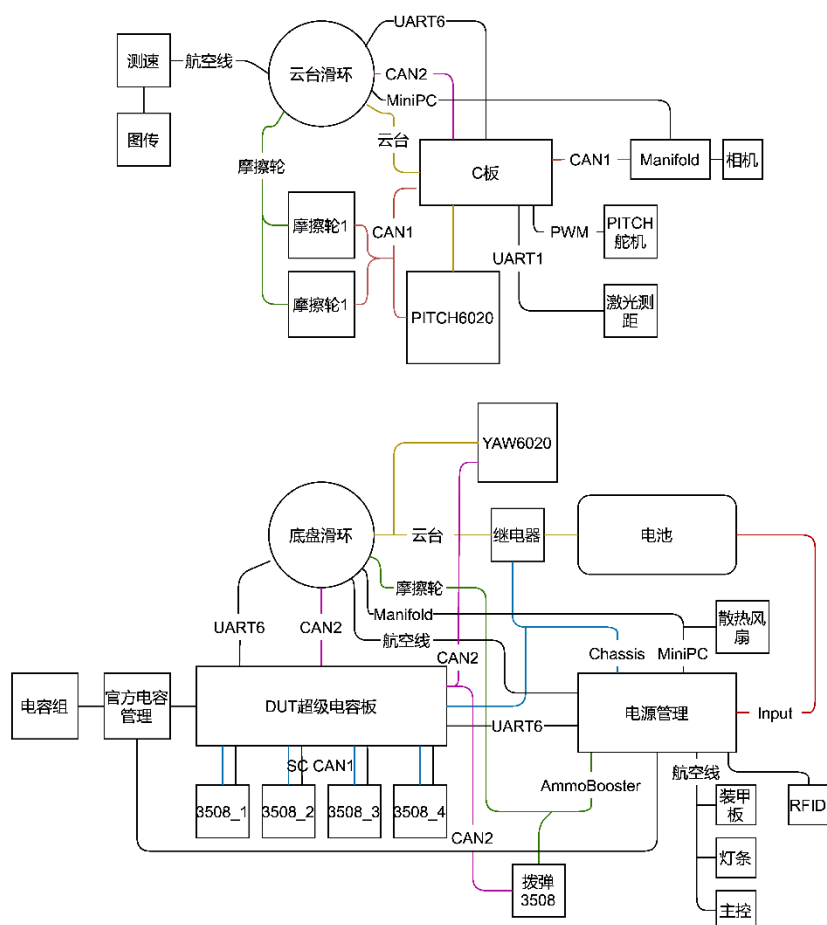
二副构件个数 ^①	三副构件个数 ^①	四副构件个数 ^①	转动副 ^②	移动副 ^②	低副 ^③	平面高副 ^④	局部自由度 ^⑤	自由度 ^⑥
10个 ^①	0个 ^①	2个 ^① (2、10) ^①	$R=12$ ^②	$P=3$ ^②	$P_L = R + P = 15$ ^③	$p_H=2$ ^④	2 ^⑤ (1、11) ^⑤	$F = 3n - 2P_L - 2P_H - 2$ ^⑥ $= 3 \times 12 - 2 \times 15 - 2 - 2 = 2$ ^⑥

通过动力分析完善高性能自适应悬挂的设计，使英雄机器人在面对斜面、下台阶、飞坡等工况中保持麦克纳姆轮与地面的压力相近，保证麦克纳姆轮组的全向移动功能，提高英雄机器人在全地形下的性能。



接线拓扑

接线设计



图片上部分为云台，下部分为底盘，两者通过 18 线滑环连接，滑环未使用定制款，有 2 线剩余。

接线部分，功率线采用 18awg 硅胶线，其极高的柔韧性极大的减少了布线难度。电池直连部分采用 16awg 硅胶线。信号线采用 24awg 硅胶线或者线材包

的 CAN 线。

为降低 CAN 总线占用，本机搭载的超级电容行使了一部分控制闭环。本机搭载的超级电容亦读取了部分裁判系统信息进行了部分控制。

注：“散热风扇”因 RGB 灯条不满足机器人设计规范未实装

代码设计

设计理念



稳定优先

稳定为先，合理设计代码结构，充分利用开发板性能，添加看门狗，避免死机。

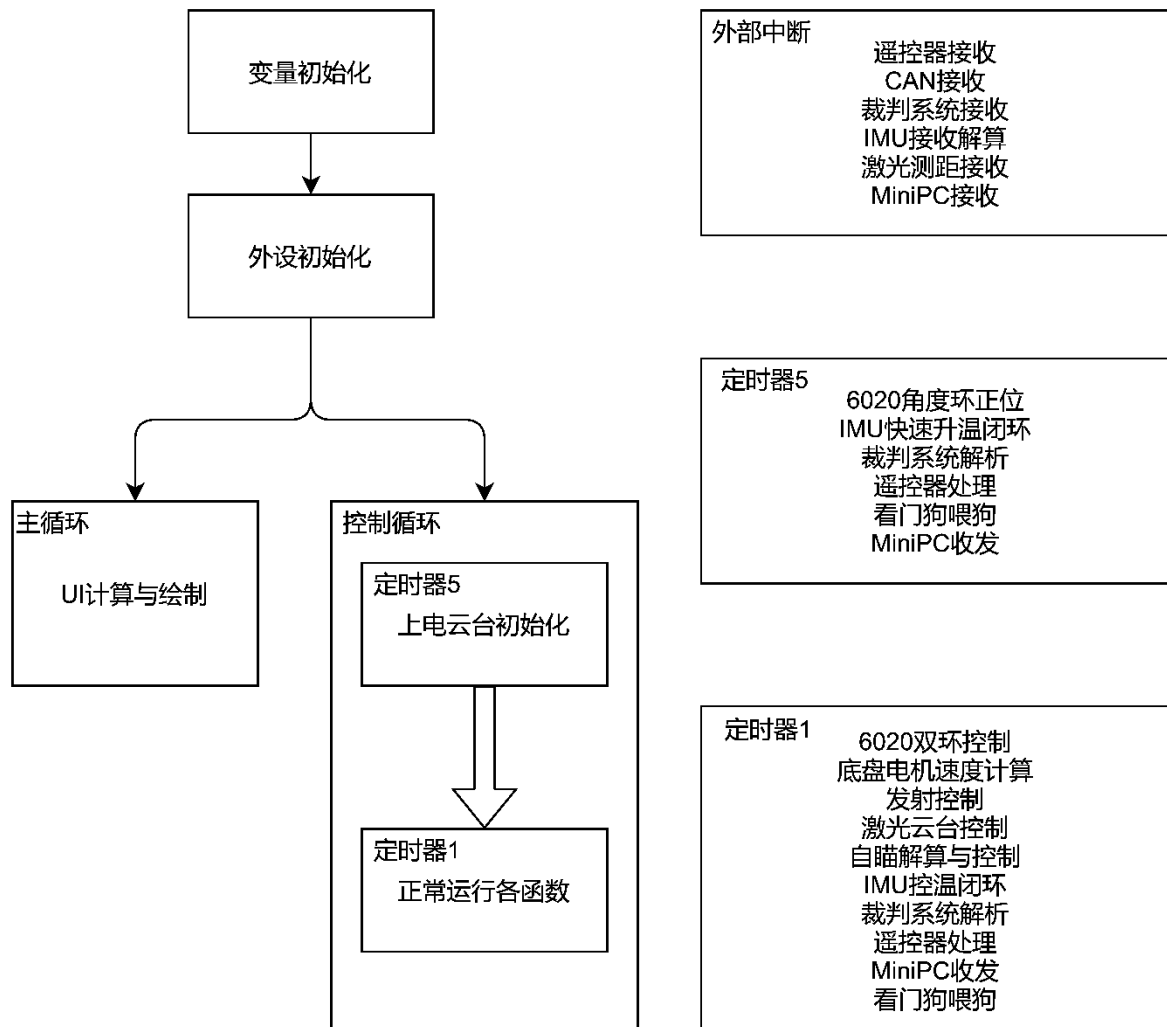
高拓展性

模块化封装程序，统一标准，可进行文件快速添加或替换。

优化性能
























优化程序设计、调用 `arm_math` 库等加速运算，重充分释放开发板性能。

程序结构



程序使用 HAL 库。程序将各个功能封装进函数，通过定时器分频进行调用，实现各个功能。

文件展示

 bmi088.c	 bmi088.h
 INS.c	 Init_Main.h
 ist8310.c	 INS.h
 LaserL1.c	 ist8310.h
 MahonyAHRS.c	 LaserL1.h
 Main_InitControl.c	 MahonyAHRS.h
 oled.c	 oled.h
 PID.c	 oledfont.h
 RC_control.c	 PID.h
 referee_system.c	 RC_control.h
 Utilities.c	 referee_system.h
	 Utilities.h

此处展示的是除去 CubeMX 生成文件外的函数文件。

main.c/h

各部分初始化与 UI 绘制

Main_InitControl.c/h

定时器回调函数

上电初始化模块

运动计算与控制模块

can 总线收发模块

LaserL1.c/h

激光测距传感器驱动

激光测距传感器通讯模块

激光云台控制模块

弹道计算模块

PID.c/h

Pid 计算函数

闭环控制参数

bmi088.c/h

ist8310.c/h

INS.c/h

MahonyAHRS.c/h

IMU 驱动

IMU 接收与解算

姿态解算

RC_control.c/h

遥控器接收驱动

传参控制模块

referee_system.c/h

裁判系统驱动

裁判系统接收与解析

UI 驱动

UI 图形信息

Utilities.c/h

延时、蜂鸣器等组件驱动

Oled.c/h

Oledfont.h

OLED 屏幕驱动

字库与图库



操作与交互

设计理念

逻辑与连贯

控制逻辑的设计首先讲究操作的逻辑性与连贯性，理想状态下符合操作手一般直觉——即实现操作手的直觉操作就是正确操作。这需要设计者对一般按键习惯以及按键布局与操作动作的联系性进行一定思考。

防误触

发生误触主要有两种情况：操作手紧张时的快速连按与临近键位的错误点击，防误触对键位的设计提出了更高的要求。为防止快速点击影响诸如单次发射等程序执行，要求设计交互式时考虑加入时间阈值或者连点自锁，并且给予操作一定的宽容度与保护，在即使发生误触时不造成致命影响。容易发生临近键位错误点击的区域主要为“C”“V”“B”等拇指控制区域，食指控制区域不易发生误触。为应对误触，拇指区域应当不设置常用功能，诸如小陀螺、自瞄开关等常用功能应当尽可能由食指控制，而如切换地盘状态、开关摩擦轮等不常用功能可交由拇指。相邻按键功能也应当尽可能同类，从而避免出现较大的控制功能错误。

通过读取裁判系统数据，限制操作手开火等动作，避免超热量死亡。

组合键

使用组合键一定要考虑按键的触发条件以及如何避免组合键未触发造成的错误影响。本机器人的组合键由Ctrl键唤醒，组合键设计也考虑了Ctrl未触发造成的影响，组合键功能也尽量设置为不急用功能避免误触。

急停键

虽然按键紧张，但本程序无论是遥控器还是键盘都有一个具有唯一功能的急停键，此按键极大程度上确保了安全。

键鼠控制

移动控制

W：云台前向移动

A：云台左向移动

S：云台后向移动

D：云台后向移动

Shift：运动提升 42%

底盘云台分离时

Q：左旋

E：右旋

小陀螺时

Q：小陀螺逆时针/小陀螺逆时针超级加速

E：小陀螺顺时针/小陀螺顺时针超级加速

火控

鼠标 L：开火

功能控制

X：急停

G：小陀螺

F: 云台归中/关闭小陀螺

Z: 刷新静态 UI+准心 UI

B: 卡弹处理

R: 启动摩擦轮

Ctrl + B: 关闭摩擦轮

鼠标滚轮上: 开启详细 UI

鼠标滚轮下: 关闭详细 UI

C: 底盘云台分离控制

V: 底盘跟随云台控制

小云台控制

鼠标 R: 控制激光云台角度

Ctrl + F 小云台归中

Ctrl + V: 单次小云台自瞄

Ctrl + 鼠标滚轮上: 小云台跟随

Ctrl + 鼠标滚轮下: 小云台独立

动态 UI

设计理念

激烈对抗时，出于本能，操作手的注意力几乎全部集中于图传画面中心区域，视线无暇顾及显示器偏远区域，

更不必说查看数字。合适的 UI 便是要利用这极少的注意力，在不干扰操作手的情况下传递必要信息。

本机器主张使用色块，将文字信息尽可能多的使用图形的颜色、大小、位置来表示，尽可能少的使用文字，并且将重要信息尽量靠近准心。

简洁

少文字少图形，去除不必要信息，减少对操作手的干扰。

色块

相同情况下，大面积色块能更加有效地利用操作手的注意力，分布在画面边缘的色块可以在不遮挡画面的情况下进行有效提示。

疏与密

恰当的疏密设置可以给予操作手合适的心理暗示，在美观的同时还可以促进操作手积极发挥。

提示性

UI 对操作手进行必要的提示，比如己方的阵营、关键的时间节点等。

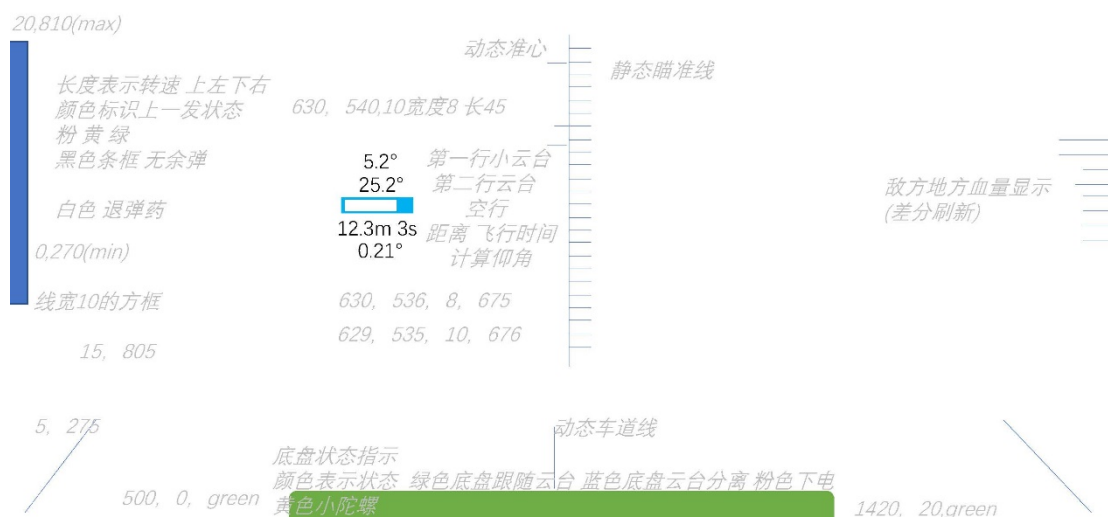
高刷新

动态 UI 采取差分显示、焦点计算等方式优先保证关键信息高速刷新，从而降低信息传递延迟、减少卡顿感，提升操作手体验。

设计实例



共计180字节



左侧色块长度指示摩擦轮转速，颜色则表示上发弹丸的发射状态。中间蓝底白条指示超级电容容量，在开启加速时白条变色指示。黑色文字为一个字符串，通过换行符实现多行，该文字指示云台与激光云台状态。屏幕正中央为准心，动态变化的横线指示瞄准点与落点。屏幕右侧通过线条长度与颜色指示敌方单位的血量。屏幕下侧色块颜色指示底盘状态，位置偏移指示小陀螺转向。动态中心线指示底盘正前方实时位置。

整套 UI 动态部分共计 180 字节，刷新率可保持 24fps。

激光测距云台

——精准测量，指哪打哪

本云台已在 RM 论坛开源，更多内容请见帖子

概要

队伍视觉组人员缺乏，没有足够的精力为英雄机器人配置自瞄，因此英雄电控组决定开发一个不使用视觉方案的“指哪打哪”装置。

实现指哪打哪首先需要理论铺垫，队员在查阅弹道计算相关资料后，发现弹道学知识并不完全适合 RoboMaster 比赛，因此决定将模型重新规划为带有空气阻力($f=-kv$)的抛体运动。

经过反复推导后，组员完成了公式，确定了需要测算的数据，随后找到了深圳市摩天射频技术有限公司推出的 L1 激光测距模块。电控组设计了激光云台，为其编写程序并完成制作后进行了测试，发现表现良好，在中远距离甚至超过了本队视觉组的自瞄效果。随后机械组重新设计了激光云台，并在英雄机器人上进行了实装。通过不断修正指哪打哪函数，最终在自家场地进行测试时，实现了 15m 指哪打哪效果。

弹道解算公式

$$y = \frac{mg}{k} * \frac{x}{V_0 \cos \theta} + \frac{\sin \theta}{\cos \theta} * x + \frac{m g}{2k} * \ln(1 - \frac{kx}{mV_0 \cos \theta})$$

本式中 θ 为击打制定点时炮管的对水平角度,为待求角度。 y 为竖直方向距离, x 为水平方向距离, m 为弹丸质量, g 为当地重力加速度, V_0 为炮弹初速, k 为流体阻力系数。

由于方程为超越方程, 在比较牛顿法、梯度下降法等算法后, 发现由二分法计算数值解效果最佳。

代码概要

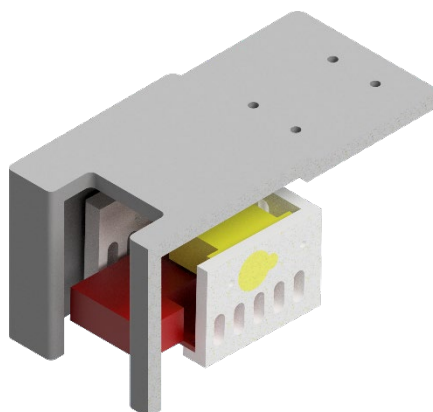
二分法需要选择恰当的端点以加速收敛。电控组选择循环计算不同 θ 下的 y , 与真实值进行比较, 当小于制定误差时作为函数的输出值。

电控组还对抬起后激光云台的角度进行新一轮解算, 确保炮管抬升后激光点位置不变。

浮点计算全部通过调用 `arm_math` 库实现。

模型展示

激光云台直接安装在原红点位置, 采用舵机作为云台电机。云台材质为 3D 打印尼龙加纤。右图为截面图。



开发工具

机械组

SolidWork2020

Inventor 2021

MiSUMi RAPiD Design

JGcreat4.8.4

AutoCAD 2020

电控组

Keil μ Vision5

STM32CubeMX

Visual Stdio Code

MATLAB2021

串口调试助手

硬件组

Altium Designer

Keil μ Vision5

视觉组

Visual Stdio Code

参考文献

参考文献

- [1] 李佑晗.基于麦克纳姆轮移动平台的振动优化技术研究[J].汽车工艺师,2020,207(10):50-53.
- [2] 卢浩文,谢佳洽,李泽寰,等.基于三维软件的麦克纳姆轮移动平台悬架系统研究[J].数字技术与应用,2016,000(011):39-39.
- [3] 周雨青,叶兆宁,吴宗汉.球类运动中空气阻力的计算和分析[J].物理与工程,2002(01):55-59.
- [4] 赵清锋.斜面上抛体运动中位置速度关系的讨论[J].物理教学,2021,43(06):42-44.
- [5] 钱林方.火炮弹道学(第二版)[M].北京:北京理工大学出版社,2016.

特别感谢

哈尔滨工业大学（威海） HERO 战队

南京理工大学 王永佳同学



初心高于胜负，成长胜于输赢

大连理工大学 凌 BUG 战队

2021.8