

技术报告

--华中科技大学 STAR I 战队

学校： 华中科技大学

团队名： STAR 俱乐部

报名号： RM20153660

1. 射手.....	1
1.1. 机械部分.....	1
1.2. 软硬件.....	4
2. 炮手.....	6
2.1. 机械部分.....	6
2.2. 软硬件.....	9
3. 哨兵.....	10
3.1. 机械.....	10
3.2. 软硬件.....	12
4. 补给站.....	14
4.1. 机械.....	14
4.2. 软硬件.....	15
5. 视觉.....	16
5.1. 目标跟踪算法.....	16
5.2. 哨兵图像拼接.....	16

1. 射手

1.1. 机械部分

射手的三维模型和实物图如下图 1、2 所示：

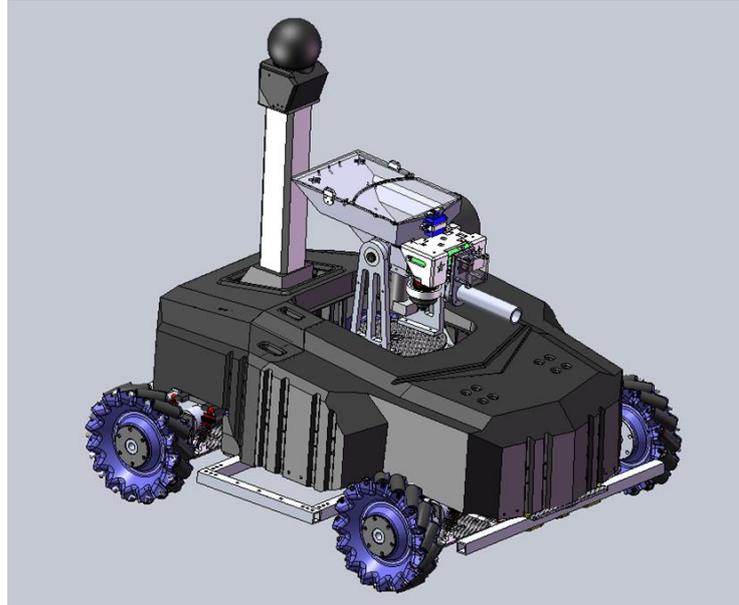


图 1 射手三维模型图

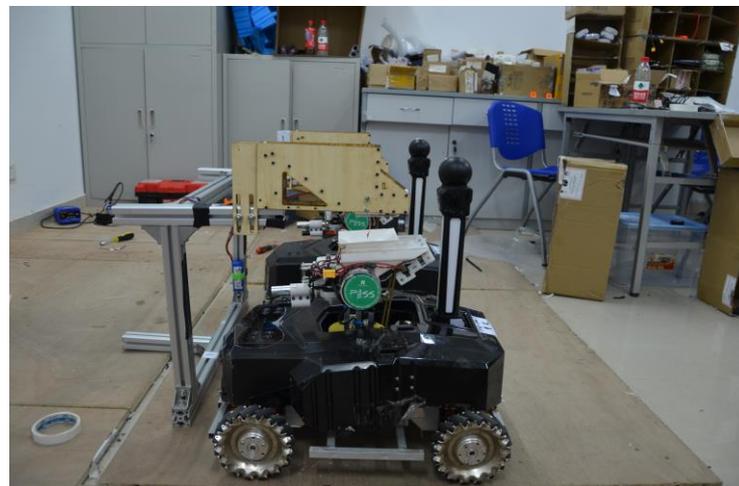


图 2 射手实物图

射手的底盘采用四悬挂+麦克纳姆轮的解决方案，每个麦克纳姆轮配一个官方的 RE35 电机，四个悬挂可以保证每个麦克纳姆轮都可以接触到地面，只有这样才能保证麦克纳姆轮全向移动的功能正常实现，悬挂细节图如下图 3 所示，因为长避震弹簧悬挂在战车行进过程中与官方车壳有轻微干涉，为了保证战车 100% 的可靠性，射手使用短避震弹簧悬挂。

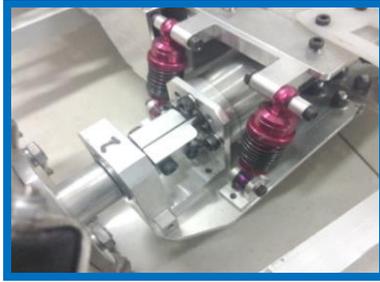


图 3 悬挂细节图

底盘上的车壳支撑件为 3D 打印件，材料为 SLS 选择性激光烧结尼龙，有很高的强度和硬度，将车壳从内部强有力的支撑起来，增强了战车的防御能力，此外，每个底盘上都安装有防撞杆，射手的防撞性能有很大的提高，避免了不必要的碰撞掉血。

云台部分，采用二维云台的设计方案，实现了发射机构水平方向（yaw 轴）和竖直（pitch 轴）方向的旋转，yaw 轴和 pitch 轴各安装有一个 6025 无刷电机，其中 yaw 轴采用了平面推力滚针轴承，使得整个二维云台的负重能力和稳定性大大的提高，yaw 轴设计如下图 4 所示。

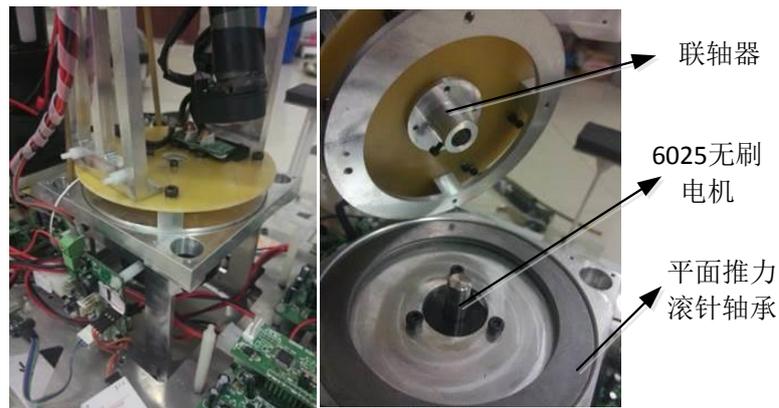


图 4 yaw 轴实物图

发射机构部分，包含弹仓、拨弹电机、拨杆、子弹通道、摩擦轮、枪管等结构，全部安装在 pitch 轴上，如下图 5 所示

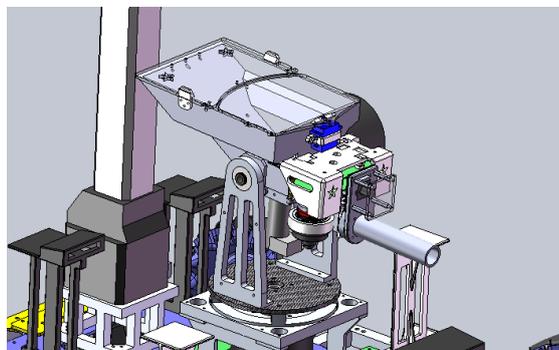


图 5 发射机构三维图

弹仓采用 3D 打印而成，弹仓盖为透明的亚克力板，这样操作手可以在第一视角下看到自身的弹量，从而做出相应的决策，如下图 6 所示，上弹仓盖分为两部分，前端那一部分安装在舵机上，由舵机控制开合，与补给站配合实现加子弹的功能，同时舵机控制前弹仓盖闭合以后就不会出现子弹甩出来的情况了，后弹仓盖采用了卡扣设计（利用了 3D 打印材料 PLA 的弹性），能够实现手动快速拆装，方便调整和加弹。

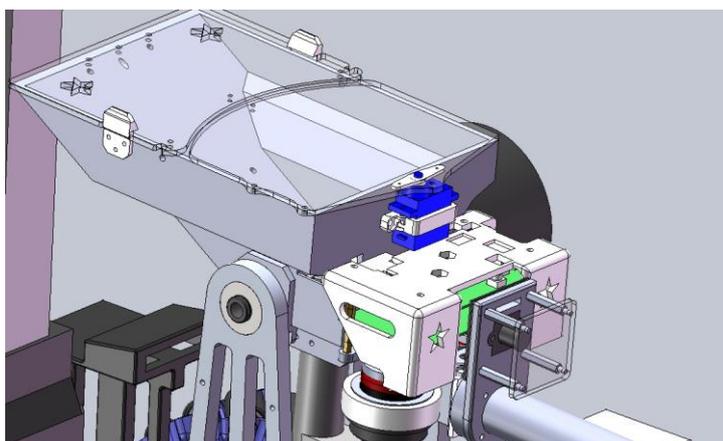


图 6 弹仓三维图

摩擦轮部分，官方的解决方案为小摩擦轮，且摩擦轮只是简单的套在套筒上，这样就存在两个问题：1、摩擦轮硅胶圈在高速旋转下因离心力而变形，往外甩，可能会与周边零件干涉，且这样的情况下，子弹的弹道轨迹一致性不是特别好，需要通过硅胶圈内侧粘胶来解决，但可靠性不是很高；2.子弹威力不够大，据此，我们采用了大摩擦轮+固定螺钉的解决方案，如下图 7 所示，摩擦轮尺寸进行了扩大，且在硅胶圈上打了 8 个孔，通过固定螺钉固定在两侧限位铝板上，实际测试效果很好，子弹的威力得到了较大的提高，且硅胶的变形也得到了很好的改善。

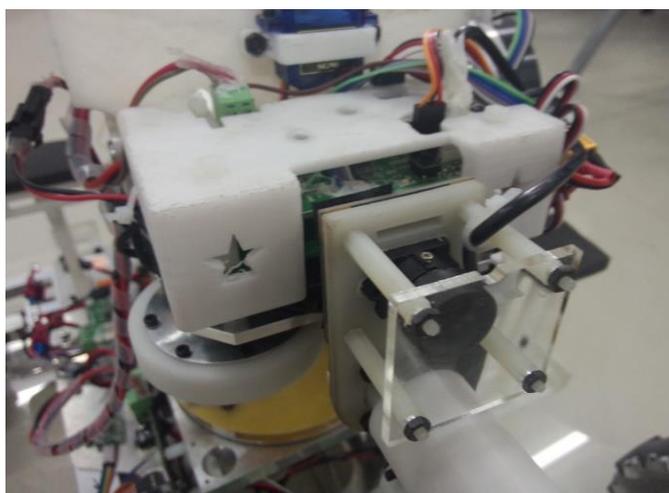


图 7 大摩擦轮实物图

除以上介绍的之外,车子露在车壳外的每个电路板都使用了 3D 打印保护壳,提高了车子的抗打击能力。此外,射手增加了半自动瞄准功能,所以在枪管上安装有摄像头,将图像传给车壳内的处理器进行处理。(半自动瞄准放在最后一章的视觉算法里面进行介绍)

1.2. 软硬件

整个射手的硬件结构如下图 8 所示,包含电机驱动、底盘主控以及云台主控等,这些电路板主要通过 CAN 总线连接在一起。

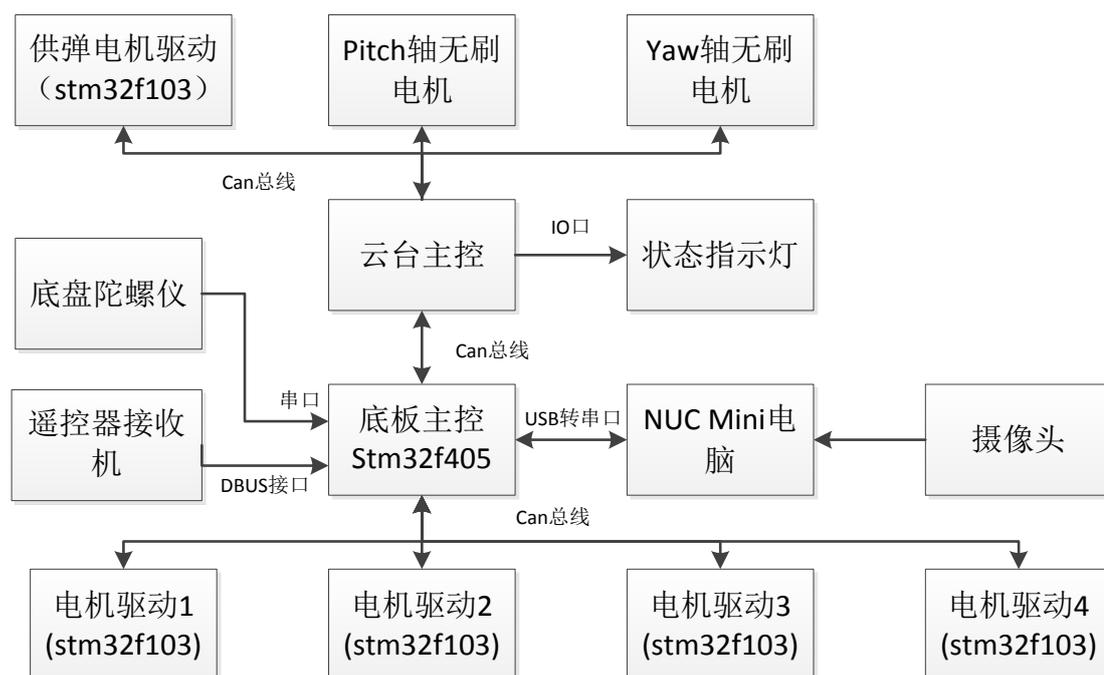


图 8 射手硬件结构

电机驱动主要负责接收地板主控或者云台主控的指令,然后驱动底盘电机或者供弹电机到达相应的状态,从而完成相应的功能。

底板主控负责接收并解析遥控器的数据和图像处理的数据,根据这些数据做出相应的决策,将对应的指令发送到底盘电机驱动以及云台主控,实际上是整个射手的“大脑”。

云台主控主要是接收地板主控的指令,然后去控制二维云台以及发射机构完成相应的任务。

软件上的主要内容如下: 1.整车控制,其中底盘跟随云台旋转,这样更符合操作手的操作习惯; 2.半自动瞄准,右键开启半自动瞄准,二维云台根据图像数据调整自己的角度,使枪管对准目标,由状态指示灯指示半自动瞄准完成,提醒操作手发射子弹; 3.底盘增加陀螺仪 (mpu6050),做角速度反馈,保证车子前进

的直线度，这个主要是保证车子在爬坡的过程中能够直线往上爬，降低轮子打滑的影响。

2. 炮手

2.1. 机械部分

炮手的三维模型和实物图如下图 9、10 所示：

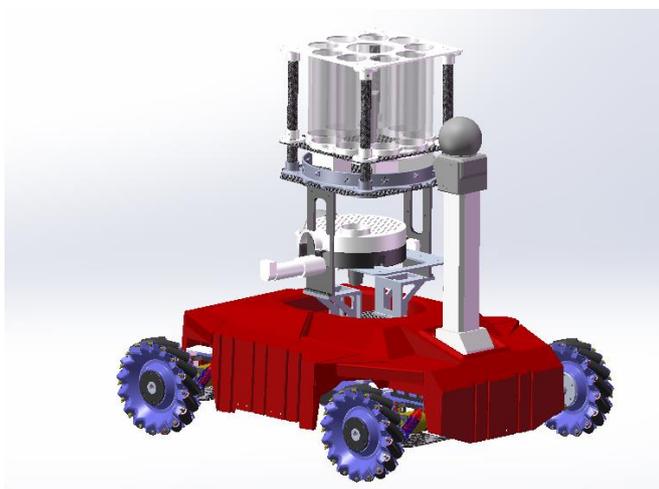


图 9 炮手三维图

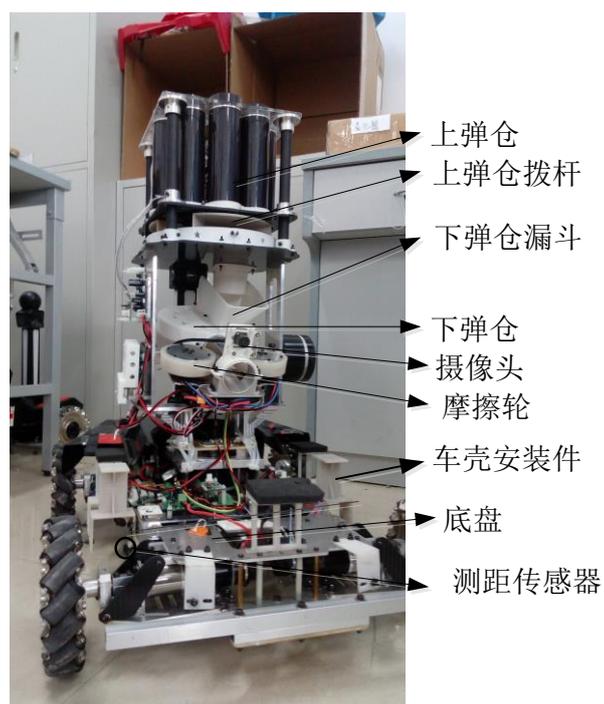


图 10 炮手实物图

首先介绍炮手的底盘，同射手一样，采用麦克纳姆轮的解决方案，主要是对炮手的车壳做了适配，其中车壳固定件为 3D 打印，此外，根据实际效果，发现底盘之上的那一部分重量太大，运动过程中惯性过大而悬挂弹簧的弹性不够，导致整个车子晃动较厉害，所以将底盘的四个悬挂中的两个换成了刚性悬挂，如上

图 10 所示，由碳纤维板制作而成，实际测试效果良好，车子运动很稳定。另外为提高炮手的自动化水平，给炮手增加了避障功能，即在炮手底盘下安装有 8 个红外测距传感器，每个方向安装有两个，可以测得每个方向离障碍物的距离，进而进行自动避障。



图 11 红外测距传感器

云台部分同射手一样，设计成二维云台，其中水平 yaw 轴采用射手的平面推力滚针轴承设计，保证零件的通用性，而 pitch 轴则采用了优化设计，即将整个下弹仓下移，使得摩擦轮的中心平面通过电机轴，保证高尔夫出射速度的反向延长线通过电机轴，这样炮手发射高尔夫球时巨大的反作用力将作用在 pitch 轴轴承上，降低对电机的损耗以及发射时 pitch 轴的抖动。

发射机构部分，在官方的解决方案中，当接收到发射指令时，由拨盘电机拨弹，子弹下落，通过弹性软管下落至摩擦轮，然后发射出去，这个设计方案经过 2014 年夏令营的总结，存在几个问题：1.炮手接收到发射指令，拨盘电机工作，子弹下落，但是因为下落的距离较大，需要时间才能下落到摩擦轮，这样就会导致整个机构有很明显的发射延时，使得子弹射出去的时候目标已经离开原有的位置；2.软管的弹性较强，俯仰角在调大的过程中，软管的反作用力会很大，而电机能够提供的最大力矩又是有限的，这样就限制了炮手只能在一个较小的俯仰角里面运动，且一直存在一个软管的反作用力会使得电机发热严重，此外软管和 pitch 轴的固定也是一个较难解决的问题。

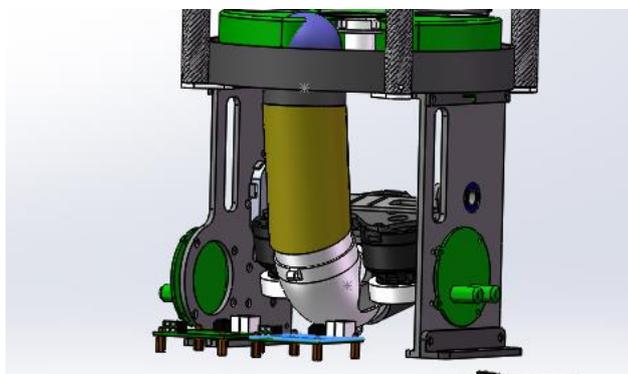


图 12 官方炮手发射机构

结合官方设计方案的优缺点，我们大胆创新的采用了双弹仓物流供弹设计，

整个设计包括上弹仓、上弹仓拨杆、下弹仓漏斗，下弹仓、下弹仓拨杆以及摩擦轮，如下图 13 所示，当炮手接收到发射指令时，上弹仓拨杆和下弹仓拨杆同时运动，下弹仓里面本来已经存了几个高尔夫，这样能够保证接收到指令后子弹马上射出去，在发射子弹的同时，上弹仓的子弹落下来补充下弹仓的子弹，这样就形成了一套双弹仓的物流供弹系统，其具有以下优点：1.接收到命令后能够迅速发弹，发射子弹的延时大大缩小，提高了炮手的命中率；2.大部分子弹都存在上弹仓上，只有几个子弹在下弹仓，这样降低了 pitch 轴上的重量，减轻了电机的负担；3.上下弹仓没有任何连接，这样结构简单，不用再考虑软管的选型和固定等问题

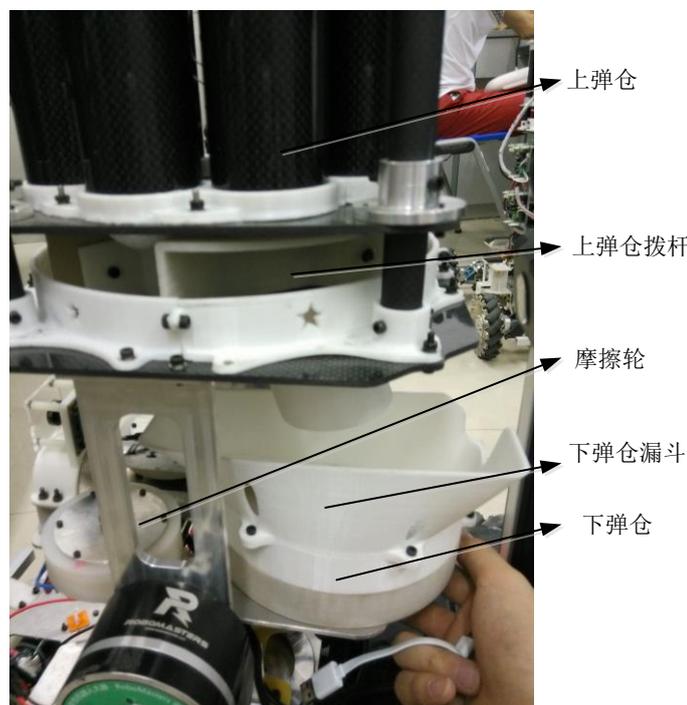


图 13 炮手发射机构示意图

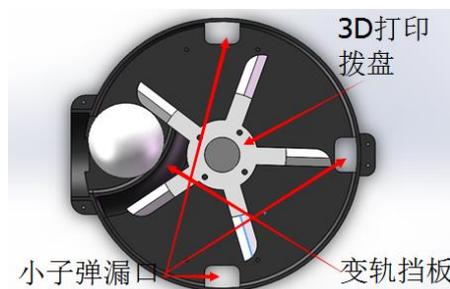


图 14 下弹仓内部结构

此外，发射机构还采用了大摩擦轮+固定螺钉的解决方案，如下图 15 所示，为了保证高尔夫发射的射程和威力，我们将摩擦轮的尺寸进行了扩大，但是尺寸扩大，硅胶圈也更容易在高速旋转下变形，因此我们将每个摩擦轮的硅胶圈打了

6个孔，使用固定螺钉来固定在上下限位铝板上，实际使用效果很理想，硅胶圈变形得到了极大的改善，高尔夫发射的轨迹一致性也得到了很大的提高。

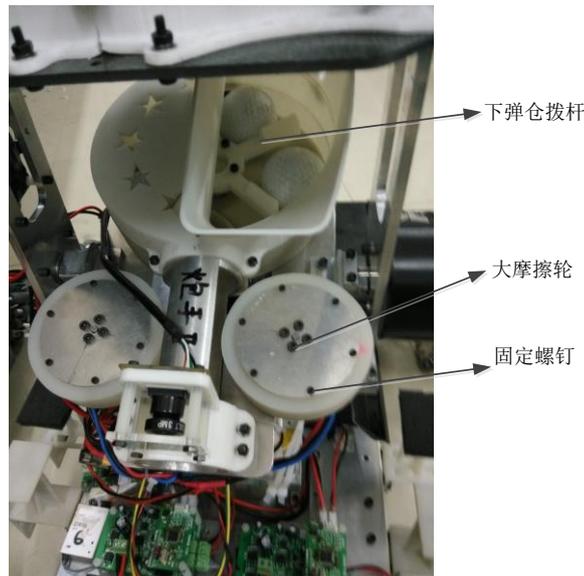


图 15 大摩擦轮实物图

最后炮手发射的俯仰角为 $-10^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ，最远射程达到 35 米，使用效果非常理想，当然根据比赛规则，我们对射速做了降低，严格保证射程不超过规则要求。

2.2. 软硬件

整个炮手的硬件结构如下图 16 所示，同射手一样，也包含电机驱动、底盘主控以及云台主控等。鉴于炮手和射手在硬件结构以及控制结构上几乎一样，所以软件上差别也不大，整体框架都是一样的，此处不再赘述。

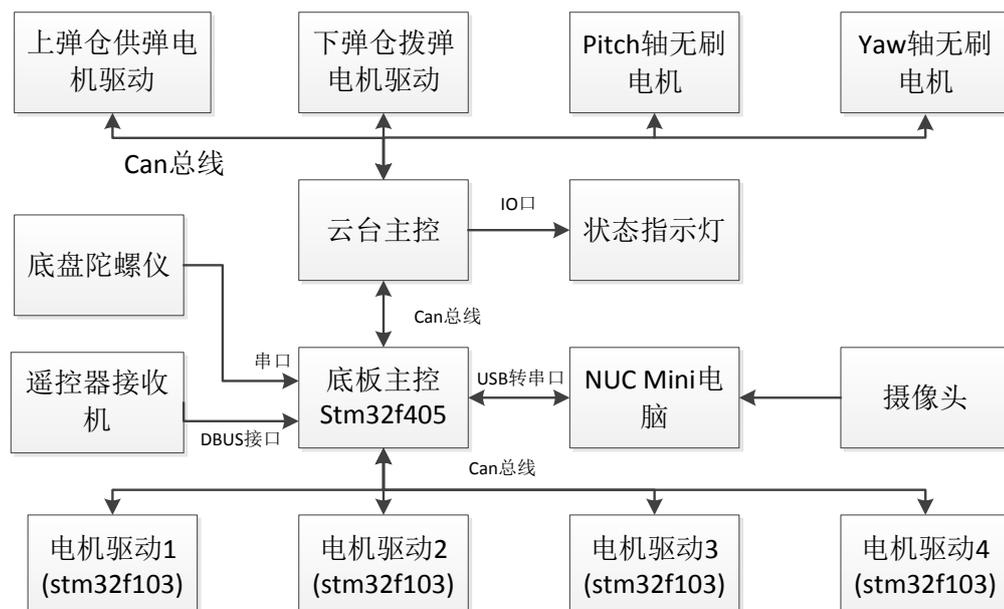


图 16 炮手硬件结构

3. 哨兵

3.1. 机械

哨兵在机械结构上做了三代，最后定型的哨兵的三维模型和实物图如下图 17、18 所示：

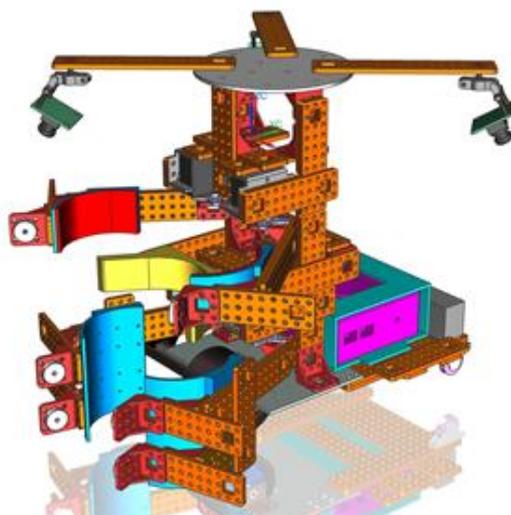


图 17 哨兵三维图

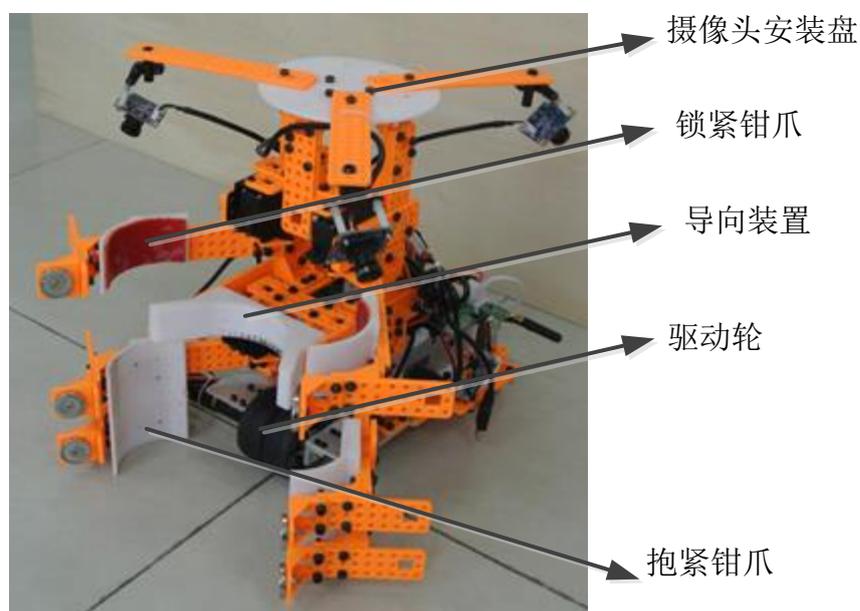


图 18 哨兵实物图

该哨兵采用了两对钳爪的解决方案，下钳爪，即抱紧钳爪，上安装契合柱子尺寸的 3D 打印件，用舵机驱动钳爪的开合，钳爪的前端安装有强磁铁，当钳爪闭合的时候，强磁铁可使钳爪保持闭合状态，从而使钳爪抱紧柱子，如下图 19 所示



图 19 哨兵下钳爪抱紧

当下钳爪闭合时，哨兵紧紧的抱住柱子，上图中所示的轮子会受到足够的正压力，当电机驱动轮子旋转时，对应的轮子和柱子间的摩擦力大于哨兵的重力，从而实现哨兵在柱子上的移动。此外，这个轮子和哨兵后端的两个小全向轮组成一个三轮的结构，实现哨兵从启动区平面移动到柱子处的功能。

仅仅依靠下钳爪的抱紧（电机做位置环，保证轮子不旋转），就已经能够保证哨兵在柱子上悬停，但是为了提高可靠性，再增加了上面的一对钳爪，即锁紧钳爪，锁紧钳爪的基本构造和下面的抱紧钳爪相同，也是由舵机、外骨架、3D 打印件及强磁铁构成，因为锁紧钳爪不需要和柱子有太大的接触面积，因此其外骨架只设计了一层，锁紧钳爪的 3D 打印件内壁贴了一层橡胶皮，如下图 20 所示，当锁紧钳爪闭合的时候，该橡胶皮和圆柱外表面紧密接触，其提供的强大摩擦力足以将整个哨兵“挂”在柱子上。因此当哨兵爬升到瞭望塔顶端时，锁紧钳爪闭合，则哨兵可以牢牢“挂”在塔顶，进行侦查工作，如下图所示为锁紧钳爪的闭合状态。



图 20 哨兵上钳爪

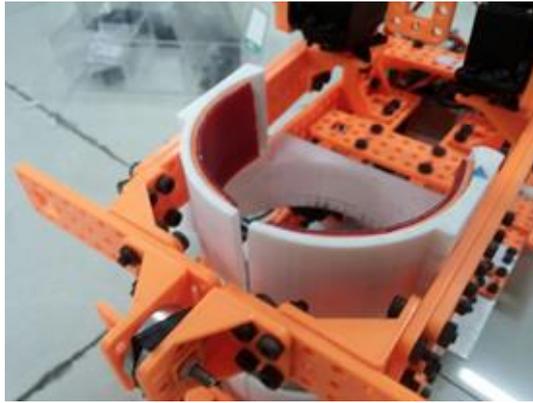


图 21 导向装置

此外，在抱紧钳爪和锁紧钳爪之间设计了导向装置，在哨兵攀爬过程中贴紧柱子，起一个导向的作用，提高了攀爬过程的稳定性。因为哨兵采用的是三摄像头解决方案，所以在顶部设计了摄像头安装盘，配合摄像头支架，保证了每个摄像头拥有包括水平方向旋转、竖直方向旋转在内的多个自由度，方便操作手根据实际场地情况快速调整摄像头的视角。

3.2. 软硬件

哨兵功能目标有两个：a.爬杆子到达一定高度，然后保持在那里；b.摄像头采集图像，经过处理，通过 5.8G 无线图传传回操作手屏幕。这两个功能目标对应两套软硬件，这里只对爬杆部分进行介绍，三摄像头解决方案放在最后视觉那一章进行介绍：

所设计的哨兵具体爬杆过程如下图 22 所示：

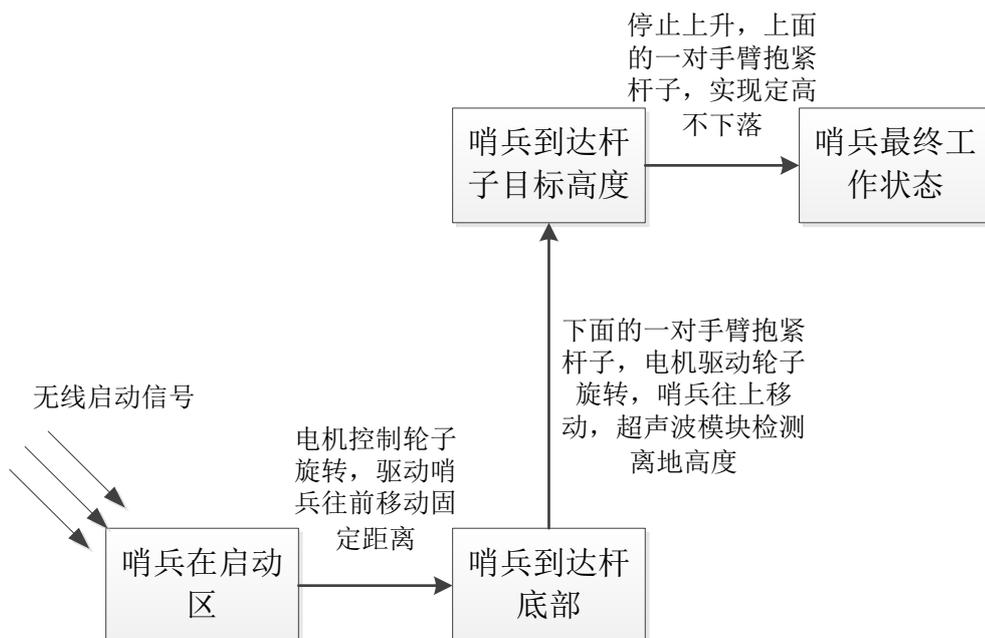


图 22 哨兵爬杆示意图

对应的硬件结构为一块主控板+电机驱动板，两块板子之间通过 CAN 总线进行通信，具体哨兵爬杆功能硬件结构如下图 23 所示

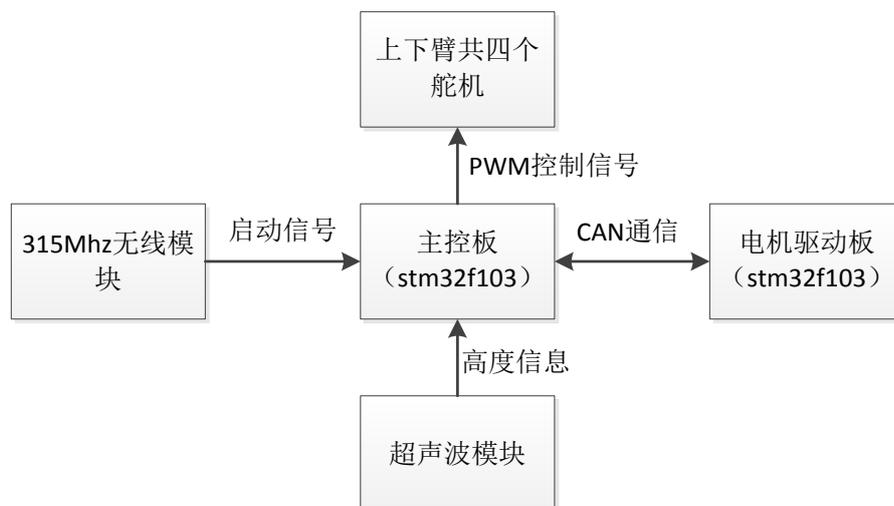


图 23 哨兵爬杆功能硬件结构

软件部分，比赛一开始，操作手通过 315Mhz 无线模块发送启动信号给哨兵主控板，主控板发送移动信号给电机驱动板，驱动电机，使哨兵移动固定距离到达杆子底部，然后主控板控制抱紧钳爪的两个舵机，使抱紧钳爪抱紧柱子，给轮子一个预紧力，接着控制电机驱动轮子旋转，哨兵上升，同时超声波模块不停检测离地高度，到达目标高度之后，停止上升，底板主控控制锁紧钳爪闭合，哨兵停留在柱子固定高度保持不动。

4. 补给站

4.1. 机械

在设计补给站的过程中，秉持的设计理念很简单，就是越快越好的加子弹，所以补给站采用了双车多次补给+底盘卡位的加弹方法，三维模型图如下所示：

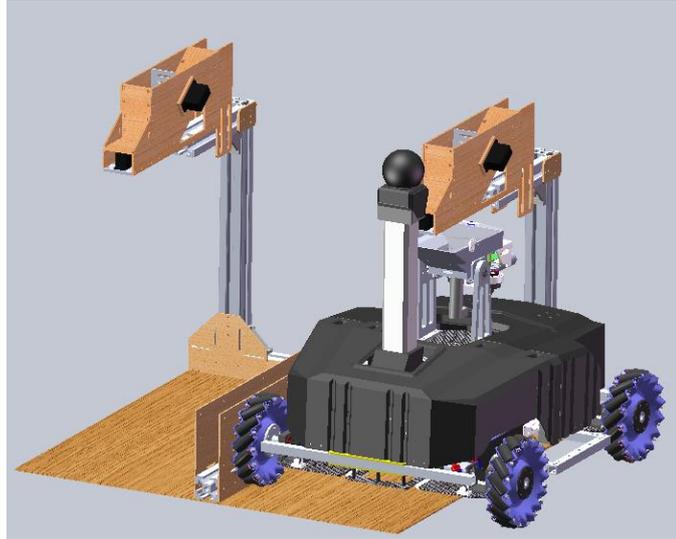


图 24 补给站三维图

补给站左右两边各有一个子弹仓，可以同时给两辆射手加子弹，并行加弹大大提高了加弹的速度，此外，补给站底盘特意设计成 90 度的直角，实现机械卡位的功能，加弹时，射手只需快速的撞进去，因为机械卡位的原因，射手无需再调整自己的位置，便可准确的到达子弹仓下方，快速加弹，这两者结合在一起就大大的提高了加弹的速度和效率。

每个子弹仓包含两个分仓，如下图 25 所示，每个分仓都由一个舵机+挡片控制开合，这样就实现了补给站的二次补给功能。



图 25 子弹仓实物图

4.2. 软硬件

补给站的硬件结构如下图 26 所示所示，为了保证补给站只能己方加弹，所以加了红外通信，当操作手按按键开始加弹，射手云台主控控制红外发射器发出特定频率的红外线，补给站端的红外接收器接收对应信号，将信息传输给补给站主控，由补给站主控解析并完成相应开仓任务，从而完成整个加弹功能。

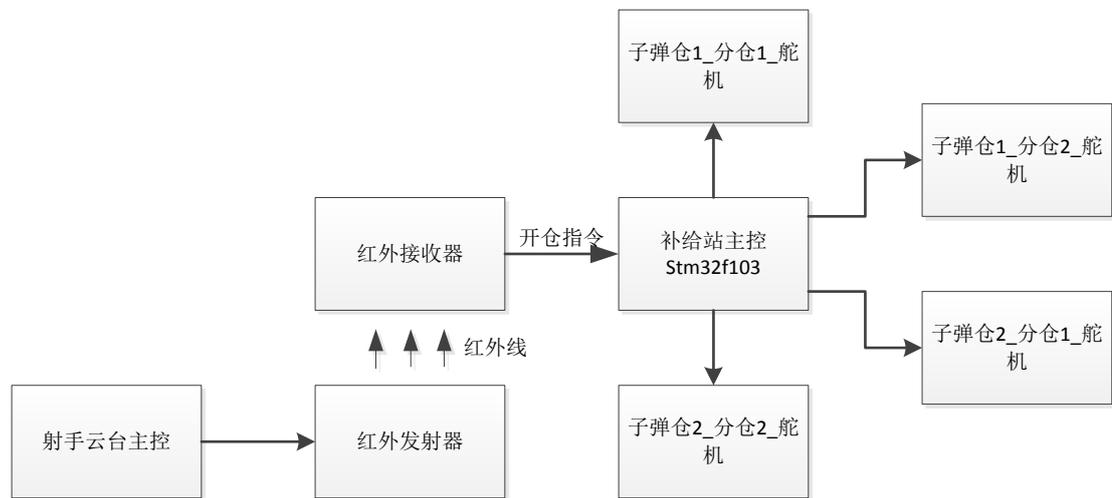


图 26 补给站硬件结构

5. 视觉

5.1. 目标跟踪算法

射手和炮手都增加了半自动瞄准，当开启半自动瞄准时，射手和炮手自动完成对目标物体的跟踪和瞄准，其可以实现比操作手更快的跟踪速度以及更高的跟踪精度和可靠性。

图像处理平台使用 NUC Mini PC 机，内置 Intel I5-4250U 处理器，性能强劲，为视觉处理提供了一个足够好的平台，使用的操作系统为 Ubuntu，与底盘主控通过 USB 转串口进行数据通信。

目标跟踪算法方面，我们制作了射手、步兵的图像样本库，使用了机器学习的方法，设置了射手和步兵两个分类器，对目标进行识别，通过不断的算法优化和系统优化，最后的处理速度达到了 40ms 左右/一帧，满足了瞄准跟踪的控制周期要求，此外，结合图像处理的数据以及弹道轨迹，我们对跟踪目标算法做了补偿和修正，提高了半自动瞄准的实用性和可靠性。

5.2. 哨兵图像拼接

为充分发挥哨兵所起的监视作用，需要设计实现多角度视野，故哨兵采用了图像拼接技术。

目前市面上的全景摄像头装置回传图像在边缘处畸变较大，对于观察者来说极不方便。对于已经存在的多路监控方案，由于其采用模拟摄像头以及过度压缩的图像传输，多路显示效果并不理想，无法观察更多细节，同时，采集卡配摄像头的方式也将增加成本。对于自主设计硬件，考虑使用 FPGA 基于硬件编程实现多路视频数据转 HDMI 接口。考虑时间及物件成本，最终放弃该方案。

最终采用高性能处理器配多路 USB 摄像头方案，摄像头传感器有效硬件像素达到 300 万。由于处理器带宽限制，最终可实现三路摄像头的图像采集与显示。

处理器为 NUC Mini PC 机，内置 Intel I3-4010U 处理器，搭载 Windows 系统，摄像头驱动利用 Directshow 平台，图像显示调用 OpenCV 库函数。为使其最终能在无线图传所接显示器上显示，摄像头采集分辨率设置为 640x480，每幅图像显示分辨率设置为 960x520，利用 OpenCV 中提供的图像 ROI 技术，进行拼接合成一副图像显示，实际显示效果较佳。摄像头摆放示意图如图 27 所示，实际使用时摄像头角度可方便地作出微调。



图 27 哨兵三摄像

至此，STAR I 战队机器人所采用的技术方案和实现细节大体已经介绍完毕，相信在做的越来越深入之后，我们可以做的更好更完美，行者无疆，进无止境~