



RoboMasters2015 全国大学生机器人大赛

—— 哨兵机器人

技 术 说 明 书

所属团队： 华中科技大学 STAR 俱乐部

设计者： 王婷

1. 设计背景

1.1 RoboMasters 机器人大赛

机器人技术是当今世界的主流尖端科技，越来越多的企业单位、研究梯队加入到机器人的研究领域，更有一大批青少年积极加入这一科学技术新潮流当中。顺应这一潮流，各式各样的机器人大赛也应运而生，为青少年们提供了一个展示自我的新型科技舞台。

RoboMasters 机器人大赛是一项全新的机器人超级对抗赛，由共青团中央学校部和全国学联秘书处主办，旨在为大学生提供科技创新的平台，为机器人爱好者、极客工程师们提供一个崭新的竞技平台，并向全社会呈现一种前所未有的机器人风暴。如图 1-1 所示为比赛现场照片。



图 1-1



图 1-2

每支队伍有属于自己的机器人战队，包括 2 台步兵，如图 1-2 所示，2 台射手，1 台炮手以及 1 台哨兵，除机器步兵外，其余机器人均由参赛队伍自行设计制作完成，其中机器哨兵属于全自动机器人，它是本次比赛中的设计难点所在，同时也是本文的主题。

1.2 爬杆机器人

本次赛事中的哨兵机器人属爬杆机器人。爬杆机器人，顾名思义其主要任务为攀爬，对象可以是电线杆、路灯杆、钢索等圆柱形物体，属仿生机器人的范畴，可分普通型和智能型两大部分，普通型只具有动力源和执行机构，相比之下智能型还具有反馈控制系统。爬杆机器人因其新颖的特点，吸引了大批科研爱好者进行研制和开发，但是也因其功能的特殊性，如需克服无处不在的地球引力，因此在研究和制作的过程中需要解决诸多问题和难点。如图 1-3 所示为电工穿戴脚扣攀爬电线杆，1-4 所示为一类爬杆机器人。



图 1-3

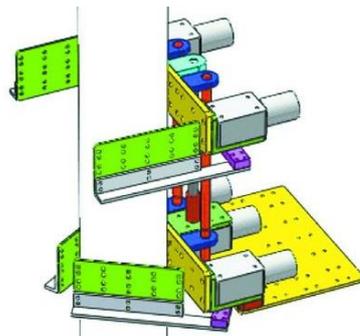


图 1-4

1.3 哨兵机器人

哨兵，顾名思义即执行警戒任务的士兵的统称，执行站岗放哨、巡逻警戒及稽查的任务。无论在现实世界还是影视作品中都经常看到哨兵的身影，是战场以及边防地带不可或缺的一份子，其重要作用可见一斑。如图 1-5 所示，为现实中的哨兵战士。

为了突出本次 Robomasters 机器人大赛的对抗性特点，营造出战场的氛围，DJI 引入了机器哨兵这一概念，规定其必须是参赛队自制的全自动机器人，用来攀登瞭望塔，完成现场侦查任务，如图 1-6 所示为瞭望塔的三维模型示意图。虽然其不能携带炮弹，不具有攻击力的机器人，但是其上安装有高清图传模块，可获取图像并将其传送到作战室内的显示器上，是机器炮兵的眼睛，因此机器炮兵能否发挥其威力，取决于哨兵能否顺利完成攀爬任务并获取尽量大的视野。



图 1-5



图 1-6

2. 设计思路及过程

设计过程共经历了三个阶段，共设计了三套方案，每个阶段分别对应一套方案，每套方案皆是在前套方案的基础上推陈出新，整个设计过程是一个不断改进、不断优化的过程，最终得到了比较好的设计结果。

2.1 方案一

该方案利用机构自身的结构特点实现自锁，如图 2-1 所示为自锁机构内部主要零部件的三维示意图，当机构受向下的作用力时，外壳内侧斜面、小球以及圆柱外表面之间相互挤压使机构实现自锁，得以“挂”在柱子上，如图 2-2 所示。

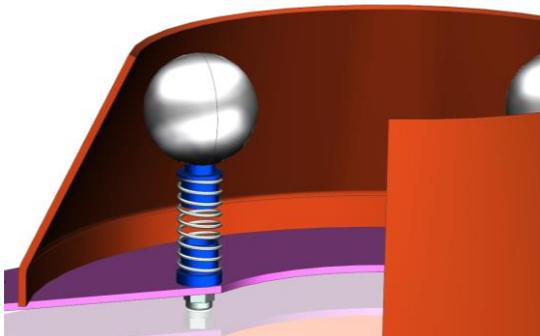


图 2-1

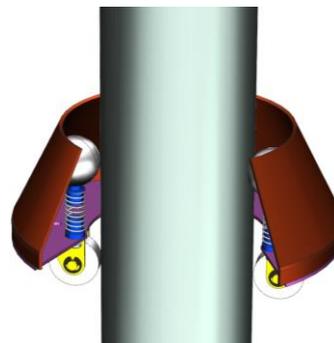


图 2-2

分别设计了上部自锁机构和下部自锁机构，中间用气缸连接，当气缸伸长时，上部自锁机构受向上的作用力从而向上运动，下部自锁机构受向下的作用力从而锁紧在柱子上；当气缸收缩时，上部自锁机构受向下的作用力从而锁紧在柱子上，下部自锁机构受向上的作用力从而向上运动，由此气缸作为动力，驱动两个自锁机构像爬虫一样伸缩运动，从而实现爬杆。如图 2-3 所示为方案一的三维模型示意图，图 2-4 为爬杆示意图。

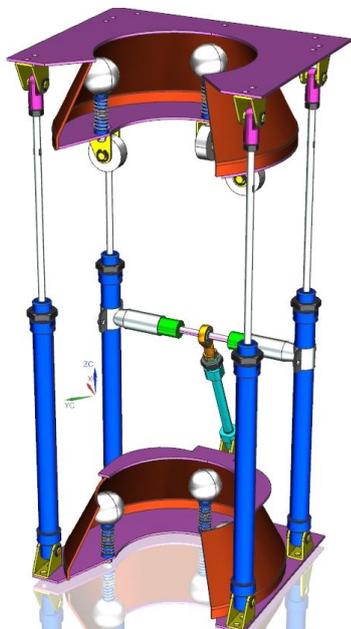


图 2-3

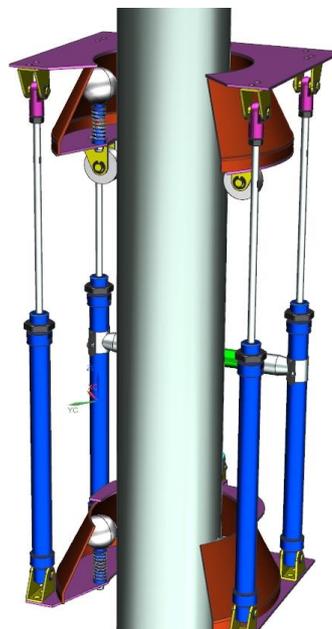


图 2-4

由于规则要求哨兵机器人为全自动机器人，而其在比赛开始时必须放置在瞭望塔的启动区，如图 1-6 中瞭望塔底部的方形区域，该启动区距离中心圆柱有一定的距离，因此方案一哨兵如何将自己“送”到圆柱处是一个需要解决的问题，由于四个动力气缸构成了平行四边形结构，因此可利用一个小气缸推动四个动力气缸，将上部自锁机构送到圆柱处，如图 2-5 所示。图 2-6 和图 2-7 所示为推动动作的完成示意图。

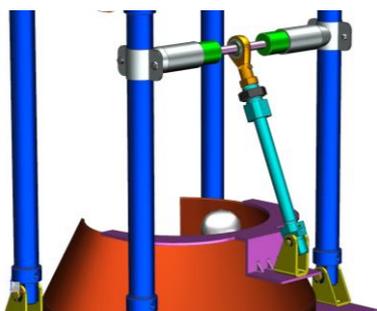


图 2-5

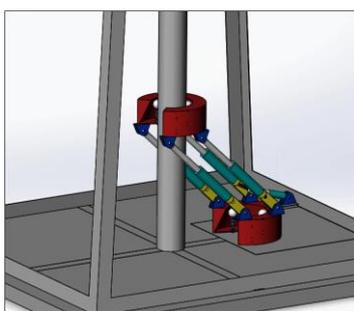


图 2-6

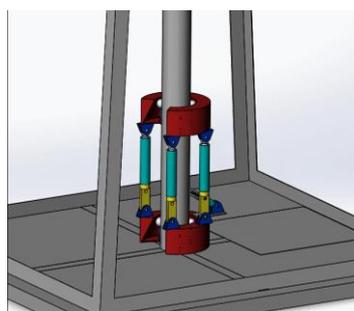


图 2-7

三维模型设计完成，零件加工及元器件的采购都完成之后，便进入装配调试阶段，如图 2-8 所示为上部自锁机构成功实现自锁功能，图 2-9 所示为安装了气缸之后的下部自锁机构，设计这套方案，气缸的选型很重要，一方面要根据规则中对哨兵机器人尺寸的要求来合理选择气缸的原始长度和行程，另一方面要考虑其是否能够提供足够的动力来驱动整个机构实现伸缩爬动。



图 2-8



图 2-9

虽然整套方案在原理以及设计上都不存在问题，但是由于该设计比较新颖，对加工精度、安装精度及元器件的质量等要求都比较高，因此要实现起来比较困难，在加工制作的过程中，我们就遇到了很多的问题，比如自锁机构中锥形外壳的制作，要求尺寸很精确，才能和自锁小球配合好，自锁小球、弹簧之间的固定和连接也需要很精准，这些都会影响到机构能否发挥作用、实现功能。但是由于诸多现实问题难以解决，加上时间比较紧迫，这个方案最终没有进行下去，待将来时间较充裕之际，将继续该方案的研制。

2.2 方案二

方案一被推翻后，考虑到时间的紧迫性，立即开始了方案二的设计，方案二属于较常见且可行性较高的思路，即利用轮子来实现爬升。

方案二设计利用蜗轮蜗杆驱动钳爪夹紧圆柱，如图 2-10 所示，然后电机驱动主动轮转动，实现爬升。因为哨兵顶端载有摄像头，而摄像头的布置及角度是经过测试确定的（为了得到尽量大的视野），因此要求哨兵机器人在爬升的过程中不能绕杆旋转，为了实现这一目的，将主动轮及导向轮设计成腰鼓型，同时也提升了轮子和圆柱间的贴合程度，如图 2-11 所示为主动轮驱动系统。

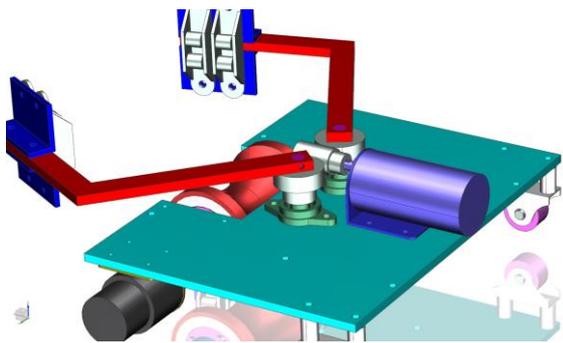


图 2-10

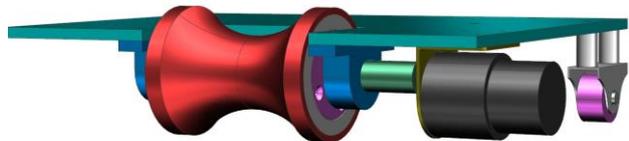


图 2-11

为了充分利用空间来布置各元器件，将方案二的哨兵机器人设计成两层结构，其中主动轮和钳爪及二者对应的驱动系统均布置在底盘结构上，导向轮则布置在顶层结构上。如图 2-12 所示为方案二哨兵机器人的整体三维模型示意图，图 2-13 为方案二哨兵机器人三维模型的爬杆示意图。

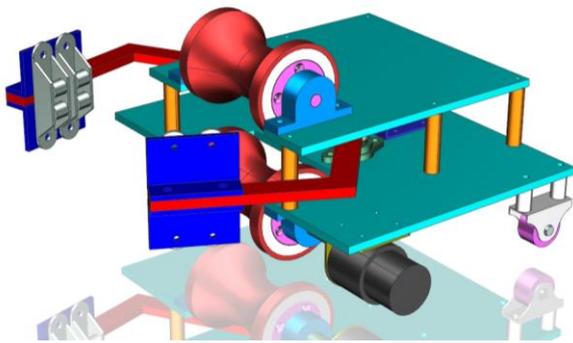


图 2-12

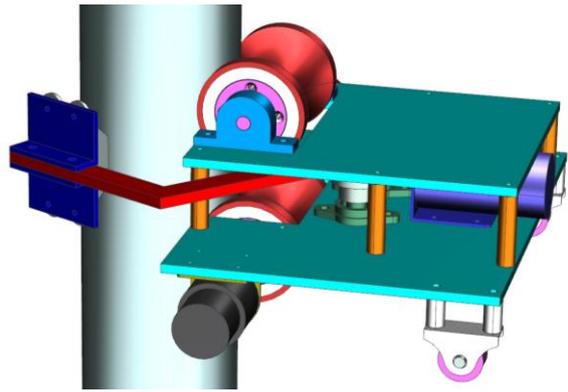


图 2-13

同方案一的设计过程，方案二也进入实物的加工制作阶段，为了增强机构的牢固及稳定性，所有零部件均采用机加工，如图 2-14 所示为方案二哨兵的实物示意图，图 2-15 所示为方案二哨兵在进行爬杆测试。

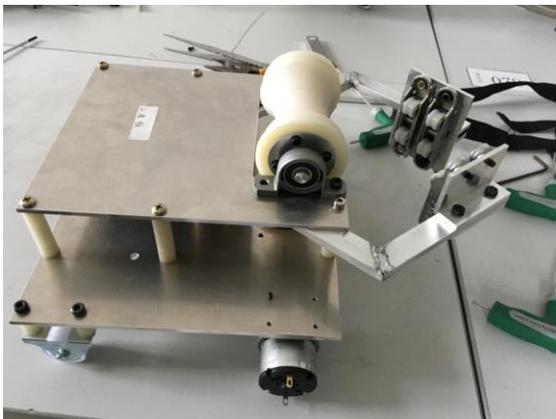


图 2-14



图 2-15

若要依靠主动轮滚动提供哨兵上升的动力，则需要给轮子提供足够的正压力，这就要求钳爪能够足够抱紧圆柱，不能有间隙或者晃动。由于钳爪采用焊接方形铝管的方法来制作，因此存在一定的尺寸误差，加之驱动钳爪的蜗轮蜗杆自身存在齿隙导致钳爪晃动，因此钳爪在工作的过程中无法稳定得夹紧柱子，加上机加工的机体很重，这一系列问题导致方案二的哨兵无法稳定爬升，会发生抖动并且易绕柱子旋转，考虑到稳定性的实现及时间的紧迫性，该方案没有继续进行下去。

2.3 方案三

方案三即最终的定型方案，且取得了较好的爬杆效果。方案三和方案二的原理大致相同，对方案二出现的问题进行改进的同时加入了一些新的创新。为了最大程度上减轻机体的重量，方案三的哨兵采用塑料件作为主要零部件。

与方案二不同的是，方案三哨兵的钳爪采用的是抱紧而非夹紧，即在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，从而是钳爪抱紧柱子。如图 2-16 所示为方案三哨兵的三维模型示意图，图 2-17 为其爬杆过程的三维模型示意图。

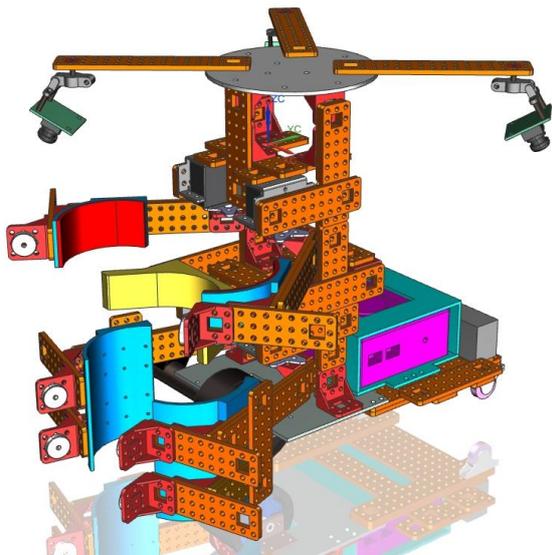


图 2-16

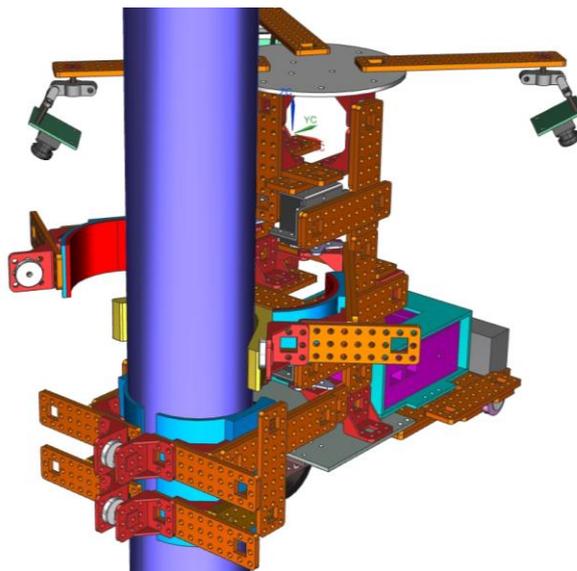


图 2-17

当钳爪抱紧柱子后，电机驱动主动轮转动，为哨兵的爬升提供动力，主动轮上方装有导向装置，和方案二中的导向轮作用一致，导向装置的上方装有锁紧钳爪，当哨兵爬到塔顶时，锁紧钳爪闭合，锁紧钳爪上贴了一层橡胶皮，其提供的强大摩擦力足以将整个哨兵牢牢“挂”在柱子上。如图 2-18 所示为方案三哨兵的实物图，图 2-19 所示为方案三哨兵的实际爬杆测试照片。



图 2-18

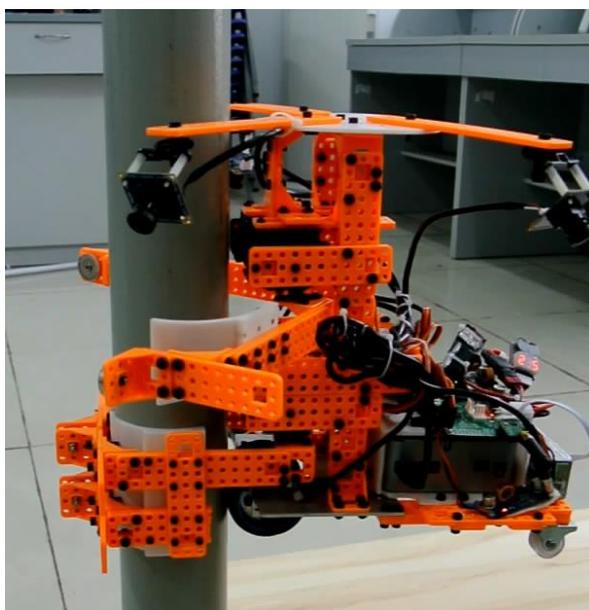


图 2-19

方案三哨兵即最终定型的哨兵机器人，其详细设计过程及功能实现介绍将在下一章节中详细阐述。

3. 结构及功能

3.1 机构设计

该哨兵机器人的机构部分主要由底盘、钳爪、导向装置以及摄像头安装平台四大部分

分构成。如 2.3 节中所述，为了最大程度上减轻机体的重量，最终方案的哨兵机器人采用塑料件作为主要零部件，如图 3-1 所示为塑料杆件，可根据需要选用不同的规格，图 3-2 所示为固定连接角架，对各零部件起固定连接的作用。

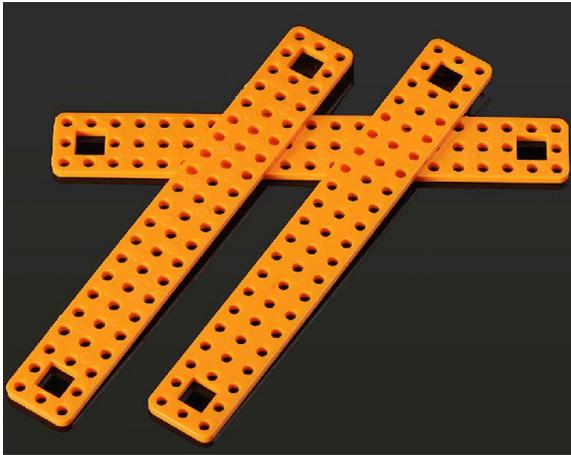


图 3-1



图 3-2

底盘部分主要包括主动轮驱动装置及控制系统安装平台。与方案二中介绍的腰鼓型主动轮不同，该主动轮驱动装置中采用模型橡胶轮胎来作为主动轮，并设计了连接零件将两个轮子并排固定在一起，加大了和圆柱表面的接触面积，使爬升更加稳定可靠。主动轮由电机驱动，通过对力矩的计算，初选一款电机来进行爬杆测试，在随后的不断调试过程中，最终确定了较为合适的转矩及转速，选用了 maxon 的 RE25 空心杯减速电机作为驱动电机。由于要对轮子施加很大的正压力，因此爬升过程中底盘受到的扭力很大，因此不能使用塑料件来固定主动轮驱动装置，需要采用刚性较好的机加工件，控制系统安装平台由于不会受到外来力的作用，仅仅只是个承载平台，因此可以用塑料件拼搭。底盘上还安装了两个小脚轮，使底盘可以平稳前进，如图 3-3 所示为底盘的示意图。

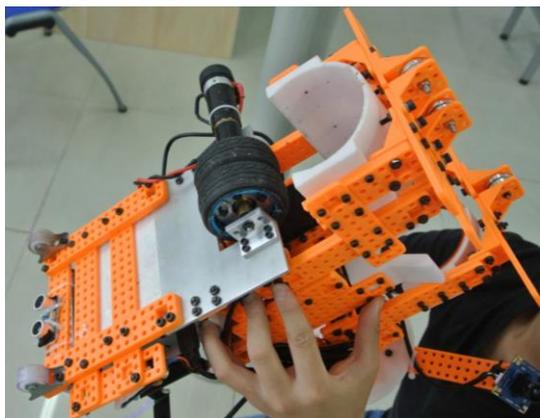


图 3-3

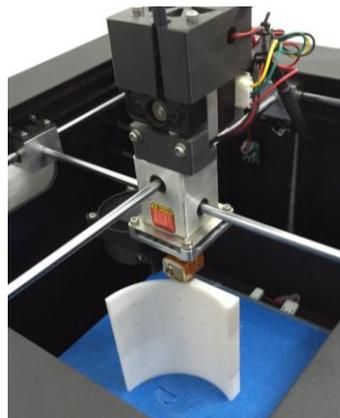


图 3-4



图 3-5

钳爪部分主要分为抱紧钳爪及锁紧钳爪两部分。抱紧钳爪用来抱紧柱子，给主动轮提供足够的正压力，哨兵能否稳定实现爬升，很大程度上受抱紧钳爪的影响，因此抱紧钳爪是整套设计中的重中之重。首先设计钳爪的外骨架，由于需要给主动轮提供足够的正压力，且该正压力的范围大一些则效果会好一些，因此将抱紧钳爪的外骨架设计成两

层，增大该钳爪和圆柱的作用面，然后在骨架上安装契合柱子尺寸的圆筒型零件，由于对尺寸精度要求较高，该圆筒形零件采用 3D 打印制作，如图 3-4 所示。在钳爪前端安装有强磁铁，如图 3-5 所示，当钳爪闭合的时候，强磁铁强大的吸力便可使钳爪牢牢保持闭合状态，从而使得哨兵在爬升的过程中，钳爪可以牢牢抱住圆柱而不脱开。如图 3-6 所示为抱紧钳爪张开状态，图 3-7 所示为抱紧钳爪闭合状态。

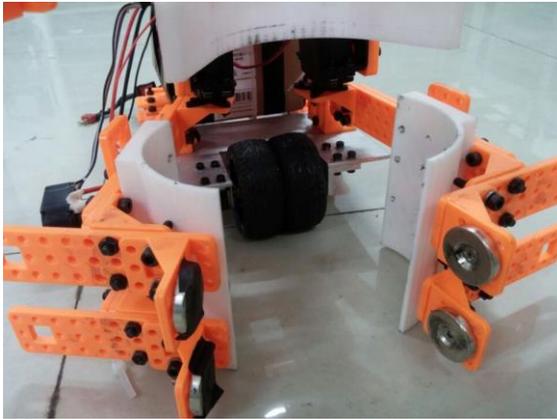


图 3-6

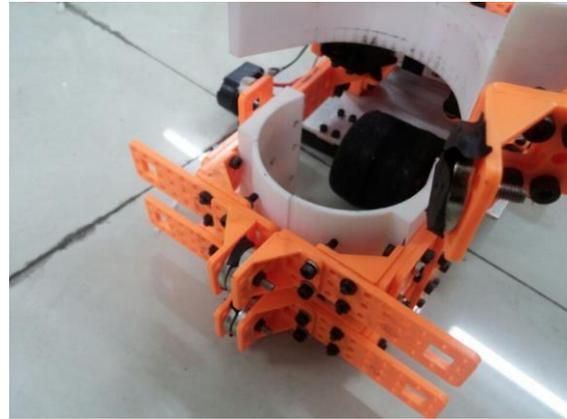


图 3-7

锁紧钳爪的基本构造和抱紧钳爪相同，也是由外骨架、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，如图 3-8 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，如图 3-9 所示为锁紧钳爪的闭合状态。



图 3-8



图 3-9

为了节省安装空间以及减重，抱紧钳爪和锁紧钳爪均使用舵机控制其开合。当哨兵往上爬升时，抱紧钳爪抱紧柱子处于闭合状态，而锁紧钳爪则处于张开状态，如图 3-10 所示，当哨兵爬升到瞭望塔顶端时，锁紧钳爪闭合，如图 3-11 所示。

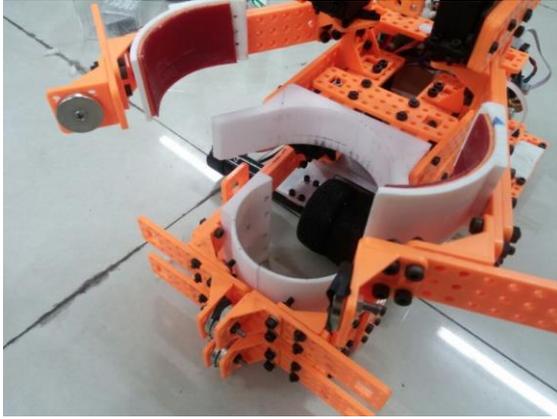


图 3-10

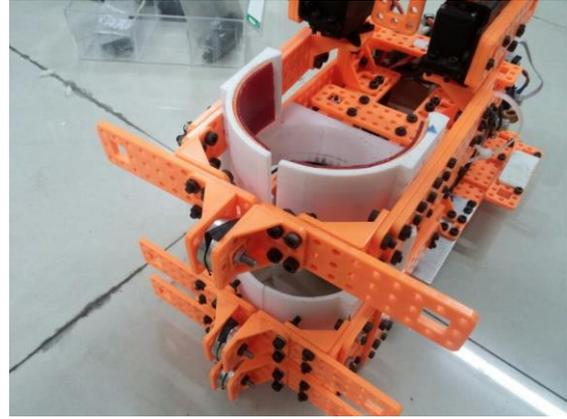


图 3-11

在抱紧钳爪和锁紧钳爪之间设计了导向装置，初期设计的时候，同方案二中的思路，将导向装置设计成导向轮结构，如图 3-12 所示，经过测试发现，该导向轮无法对解决哨兵上升过程中绕圆柱旋转这一问题提供帮助，方案二中的腰鼓型导向轮虽然可以提供一定的帮助，但是其分量太重，所以不考虑采用。考虑到导向装置仅仅只是为了起到导向和支撑的功能，因此不一定要是轮子，所以最终采用了如图 3-13 中所示的 3D 打印件作为导向装置，这样既保证了其功能的实现，又解决了旋转问题且分量轻，一举多得。

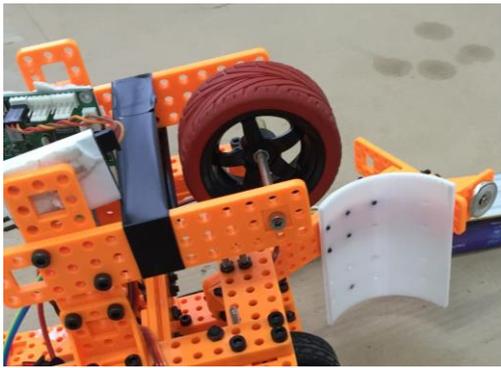


图 3-12

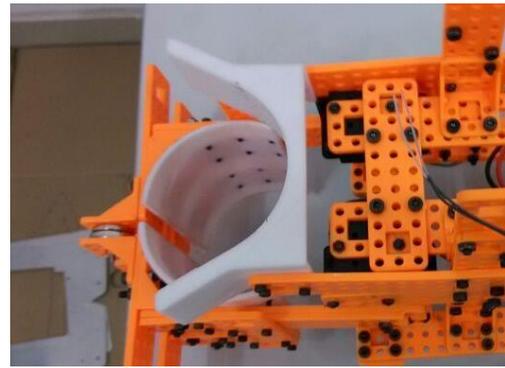


图 3-13

摄像头安装平台放置在哨兵机体的最顶端，顾名思义是为了安装摄像头而设计的，摄像头的安装关系到哨兵能否获得最大范围的视野，因此也是很重要的一个设计环节，如图 3-14 所示为哨兵上搭载的摄像头。由于后期需要对摄像头的角度和位置进行调整，因此采用了如图 3-15 中所示的安装架，可以很方便得对摄像头的拍摄角度进行调整。

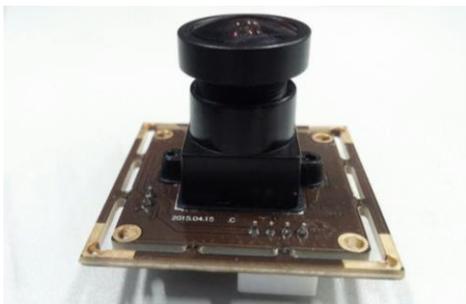


图 3-14



图 3-15

关于摄像头以及视觉图像这一部分，将在下一节中进行详细阐述。

3.2 功能的设计及实现

3.2.2 软硬件设计

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，下面分别进行介绍：

首先是爬杆功能，所设计的哨兵具体爬杆过程如下图所示：

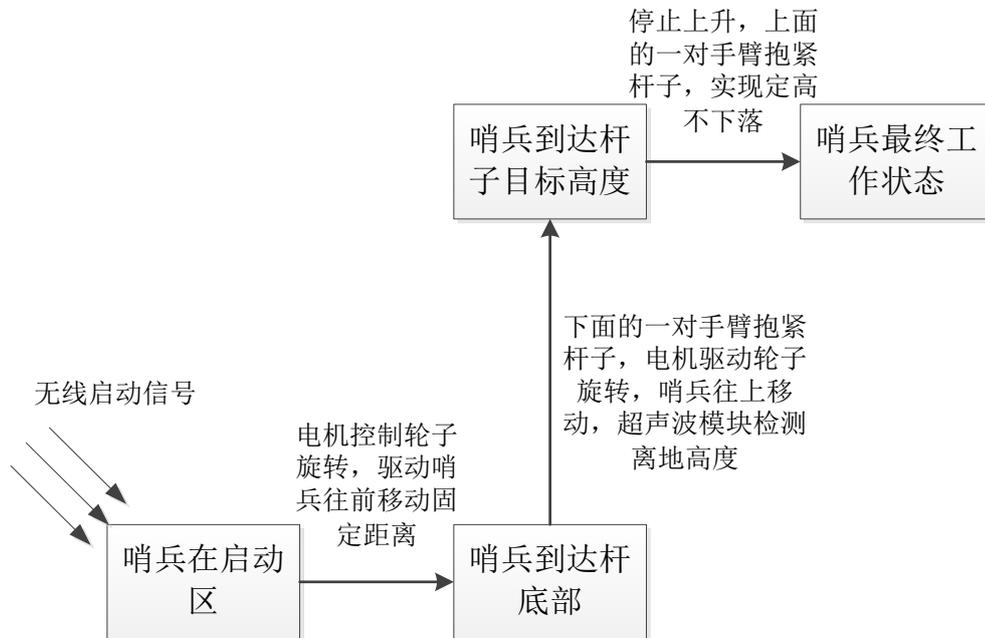


图 3-16 哨兵爬杆示意图

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示意图如下：

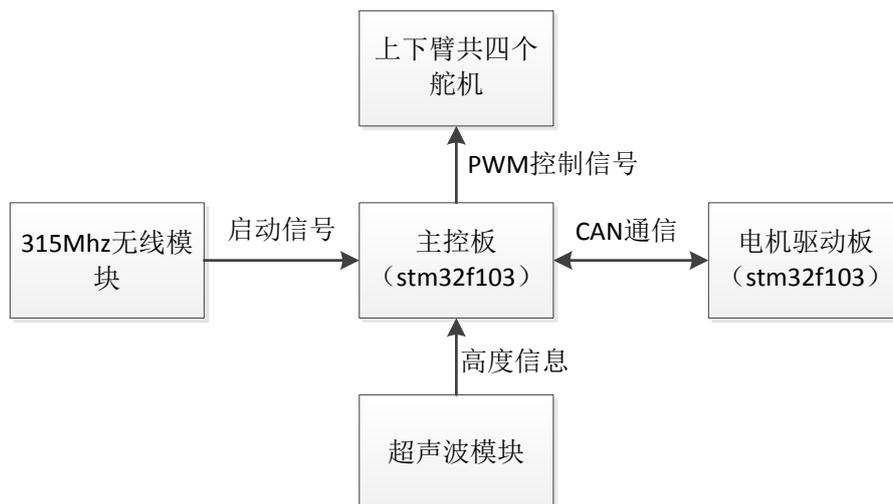


图 3-17 哨兵爬杆功能硬件结构

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。

以上是哨兵的爬杆功能的实现，下面对哨兵监视功能的实现做一个介绍，硬件结构示意图如下，大多数队伍采用的是一个运动相机+5.8G 无线图传的解决方案，但是只能获取一个摄像头的图像信息，视角受限，得到的信息也有限，所以我们采用了三摄像头的解决方案，将三个摄像头的图像传到 Mini PC 机上，将三幅图像融合为一副图像，再通过 5.8G 无线图传传至指挥员屏幕，经过实际验证，视角得到了极大的扩展，获取了足够的场上信息，指挥员能够更好的了解全局的情况，从而做出相应的指挥决策。如图 3-18 所示为哨兵监视功能硬件结构示意图。

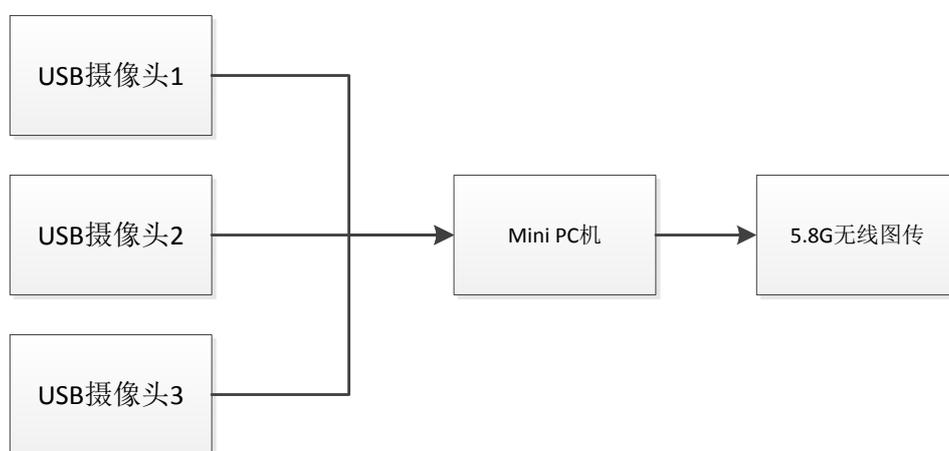


图 3-18 哨兵监视功能硬件结构

3.2.3 视觉图像处理

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。

对于多角度大范围视野，本设计论证了多套方案，包括全景摄像头、多路模拟监控摄像头和自主设计硬件等。

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，每幅图像分辨率设置为 640x480，实际显示效果较佳。摄像头摆放示意图如图 3-19 所示，实际使用时摄像头角度可方便地作出微调。



图 3-19

4. 主要创新点与特点

- 1) 钳爪设计巧妙，分抱紧钳爪和锁紧钳爪两部分；安装有 3D 打印圆筒件，使钳爪尺寸和攀爬圆柱完美契合；巧妙利用强磁铁，使钳爪在抱紧柱子时及牢固又稳定。
- 2) 抱紧钳爪设计成两层，增大了其与攀爬圆柱外表面的接触面积，为主动轮提供了更多的正压力。
- 3) 锁紧钳爪利用了橡胶皮，其强大的摩擦力使哨兵可牢固且稳定地悬挂在瞭望塔顶端。
- 4) 全自动机器人，采用无线启动，准确迅速；安装超声波传感器测距，使其爬到一定高度即可自动停止攀爬。
- 5) 创新性采用多个摄像头，将多幅图像集成，保证图像质量的同时也能实现实时传输。

5. 作品展示照片

如图 5-1 和 5-2 所示为哨兵机器人不同方位的展示照片。



图 5-1

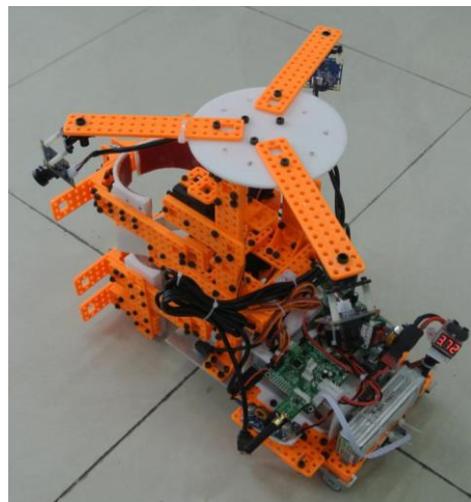


图 5-2

如图 5-3 所示为机器哨兵的调试过程照片，同时反映了其与人体的尺寸对比。

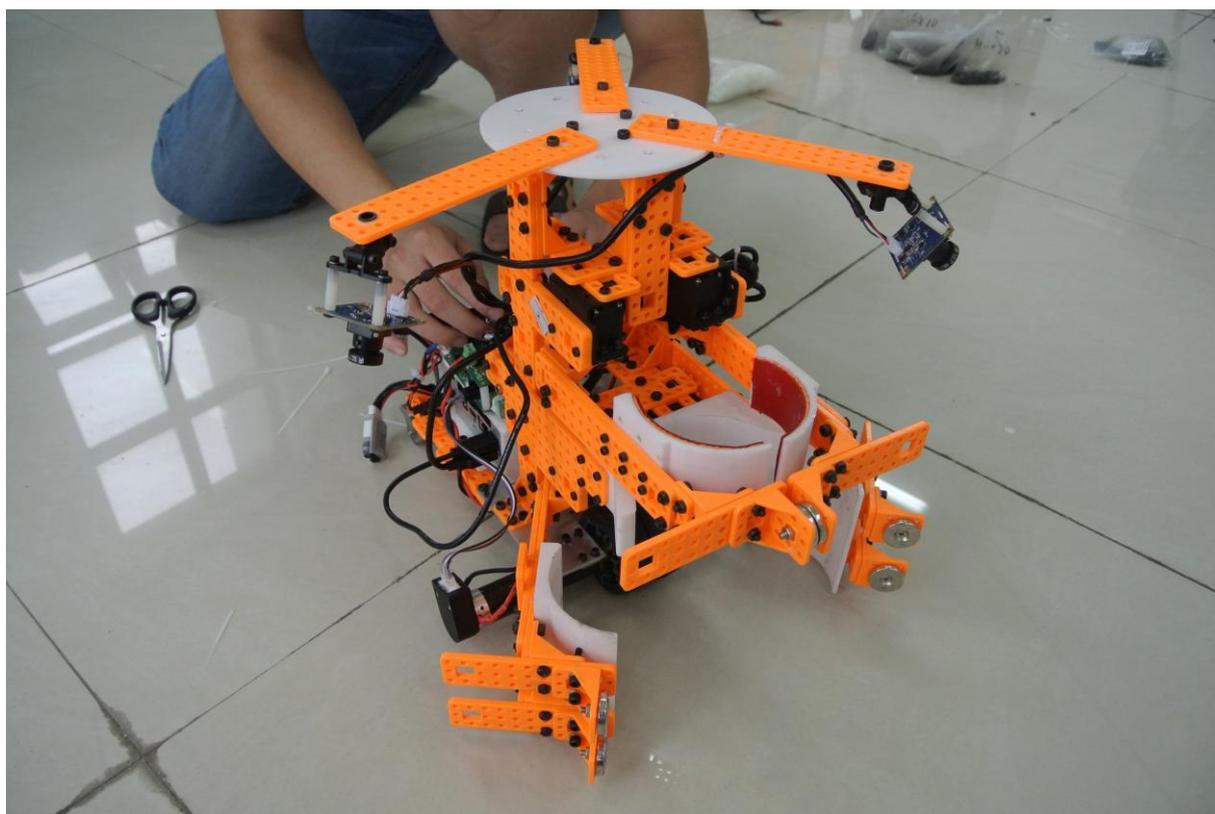


图 5-3

如图 5-4 所示为哨兵机器人的正面照片，图 5-5 为其底面照片。



图 5-4

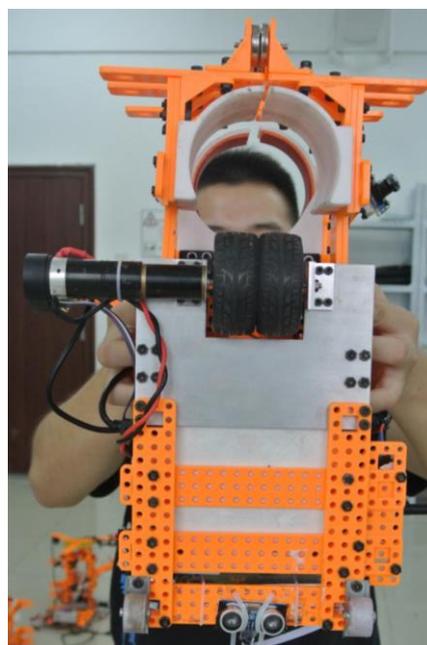


图 5-5

如图 5-6 所示为哨兵机器人与攀爬圆柱的对比展示照片。



图 5-6

如图 5-7 与 5-8 所示为哨兵机器人由启动区驶向攀爬圆柱。



图 5-7

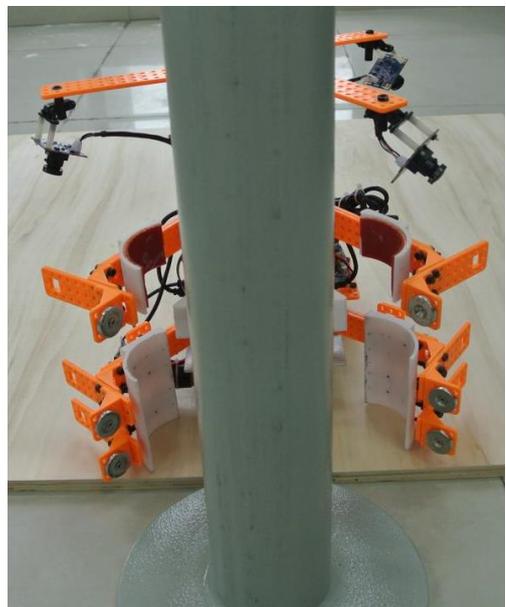


图 5-8

如图 5-9 所示为哨兵机器人攀爬圆柱时的照片，图 5-10 所示为哨兵机器人爬至瞭望塔顶后悬挂在塔顶的照片。

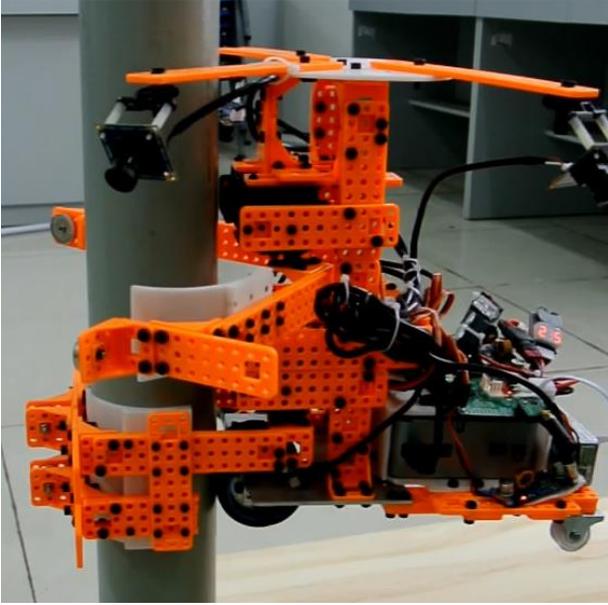


图 5-9

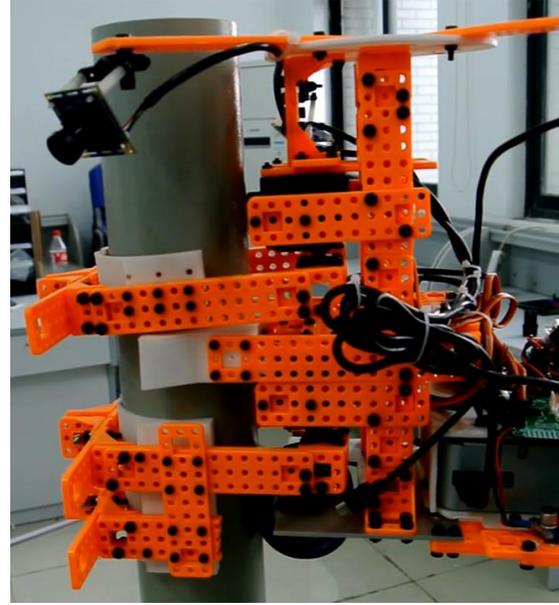


图 5-10