

电子科技大学创新创业项目

中期报告

项目名称： 微小型智能跳跃机器人

组内成员： 苟栩宁、曹知寒、崔晨光、谈培杰

指导教师： 魏敦文

2023 年 4 月 23 日

摘要

本文主要研究一种基于工程原理的微小型智能跳跃机器人，其可在复杂环境中实现跳跃，跳跃高度远超以往的仿生机器人，在国防军事领域存在极高的应用前景。目前研究内容主要包括：设计了机器人基于碳纤维的跳跃组件，包括碳纤维足、电机、锁存器、吊臂、释放臂等部件，能够通过电机的旋转带动实现机器人的准备及跳跃。同时初步探讨设计了机器人实现重复跳跃的组件，为跳跃机器人的可持续性运行奠定了基础。

关键词：碳纤维足；跳跃机器人；重复跳跃

目录

摘要	I
1 绪论	1
1.1 课题研究背景及意义	1
1.2 研究现状	1
1.3 研究内容及文章结构安排	2
1.3.1 研究内容	2
1.3.2 文章结构安排	4
2. 微小型智能跳跃机器人	4
2.1 碳纤维跳跃组件	5
2.1.1 碳纤维片	5
2.1.2 电机	6
2.1.3 电源	6
2.1.4 锁存器	7
2.1.5 释放臂	8
2.2 碳纤维跳跃组件跳跃原理	9
3. 项目研究成果	10
3.1 研究成果	10
3.2 继续研究计划	11

1.绪论

1.1 课题研究背景及意义

伴随着无人系统技术的发展，微小型仿生跳跃机器人通过模拟动物如蚂蚱袋鼠关节运动机理实现高性能高能效的跳跃运动，跳跃运动借助关节高爆发力，实现高速的离散运动步态，具有很好的越障性能，同时具有体积小、隐蔽性好、重量轻、成本低等特点，非常适用于非结构环境下探测和侦察任务，在国防领域和民用方面都有着广泛的应用前景。

随着研究的深入，发现制约其发展的最大因素就是跳跃机理不够清晰以及设计什么样的储能爆发结构到仿生跳跃的效果还不明朗。所以项目的研究重点在于仿蝗虫腿部结构、腿部柔性关节与超弹性的耦合以及控制等方面，从而提升跳跃机器人的跳跃性能。在军事国防和民用方面都有着十分广阔的应用前景。

1.2 研究现状

几个世纪以来，科学家们探索了生物跳跃高度的极限，几十年来，工程师们设计的跳跃机器人经常模仿或从生物跳跃者中汲取灵感。国外机器人已有不少成品，如月球弹簧高跷是模拟蚂蚱的弹跳；气动双足机器人模拟人类的跳跃；四足机器人仿照青蛙的跳跃模式；为穿越崎岖路段分别结合了滚动和滑行运动技术的机器人；水上跳跃机器人模拟水龟的动作等等。国内目前也有仿猫、仿蚂蚱、仿水龟的跳跃机器人以及电磁驱动的小型跳跃机器人。

其中仿蝗虫机器人基于扭簧的弹性变形激励，采用微型马达对其先蓄能后释放的方式完成跳跃运动。在转向问题上同样采用了支撑腿设计，该团队在该机器人上的创新在于着重研究群机器人的路径规划问题，并考虑结合组网技术将其应用在远程家庭环境监控领域。最新的小型跳跃机器人的设计重点在于分析蝗虫的运动模式，实现了爬行和跳跃两类运动。

2016 年，李涛等人从微观上分析超疏水性材料的疏水作用机理，在此材料研究基础上，结合水龟的生物特征和运动机理，将该材料作为机器人的足端设计了一种仿生水龟机器人，并据此分析了仿生水龟机器人的运动特性，为该团队后续对仿生水龟机器人的动力学研究打下了基础。在李涛等人的研究基础上，该团队成员通过实验和仿真研究了所使用的弹簧刚度、起跳角度和脚掌面积对于机器人起跳性能的影响。

但是相比之下，基于工程原理的机器人的跳跃高度可能要高得多，因为它的棘轮或旋转电机可以在重复行程或旋转过程中使得做功倍增。由于能量产生的差异，仿生跳跃机器人和工程跳跃机器人最大化跳跃高度的设计并不相同。因此，我们计划创造一种可以跳跃更高的设备。据计算，这将远远高于以前的仿生跳跃机器人，比最好的生物跳跃机器人高出一个数量级，而更高的跳跃高度意味着能适应更复杂的地形并拥有更广泛的应用，因此无论是在军事上还是工程上，这样的机器人都有极好的应用前景。

1.3 研究内容及文章结构安排

1.3.1 研究内容

本项目研究一种可以远程操控的小型智能跳跃机器人，具备实时图像传输，记录并发送自己的当前位置、通过无线蓝牙模块与智能手机等通讯设备进行通信、远程调整跳跃方向及高度以进行复杂地形空中侦察等功能。

本跳跃机器人由直流减速马达驱动机构、碳纤维弹片及橡皮筋储能机构、自动释放装置、弹簧复位结构和智能控制系统组成。考虑机器人在空中的运动特征，利用 IMU 传感器实时监测机器人的运动状态，根据传感器的数据通过运动规划和闭环反馈控制调整机器人的跳跃方向，借助 GPS 实现定位。控制马达不同的旋转时间改变弹簧蓄力，以控制不同的跳跃高度。机器人的自动释放装置和弹簧复位结构由 solidworks 设计，然后由高精度 3D 打印机打印。跳跃机器人系统由接收器和发射机实现远程控制，它向机器人体内的微型 arduino 计算机发送信号以控制跳跃的方向和高度。为了让机器人能够执行侦查任务，我们

优化了机器人的结构，使它能够跳跃到足够的高度。并改进蓄能装置，使机器人跳跃时间间隔大大缩短，以实现连续的工作。

为了实现上述功能，我们的设计方案主要如下：

该跳跃机器人包括轻型碳纤维跳跃结构、流线型破风机构、重心调整换向结构、避障机构、支撑组件以及控制装置。

碳纤维跳跃结构包括：跳跃用碳纤维片、十字形橡胶固定布、电机、弹簧复位臂、闭锁以及多个钢质连接件。使用四个碳纤维作为跳跃主弓四个碳纤维片在两端分别通过两个十字形橡胶固定布进行固定，下端与地面接触，上端通过连接件与弹簧复位臂进行连接，弹簧复位臂上有一阻隔滑块，阻隔块连接在绳上，绳随电机做往复运动，当阻隔滑块运动到与闭锁相接触时，滑块将闭锁挤开，给予跳跃主弓巨大的瞬时力。从而通过电机的快速运动，实现跳跃主弓的弯曲和复原，完成跳跃并落地，实现往复的运动过程。

流水线破风机构部分需要完成破风，使得跳跃式阻力更小，提高跳跃高度。经过思考和实验，我们根据伯努利原理，设计了轻型材料制成的破风尖头帽，该破风帽为流水线构型，能充分减少运动时的阻力。

重心调整换向机构包括舵机和质量块，控制元件接收到 app 传来的方向信息或避障机构传来障碍物信息后，使舵机旋转一定的角度，从而使得质量块的质量方向性发生改变，从而改变整体机构的重心，使机构的运动向目标方向转换。

避障机构主要有使用深度相机和红外的双模控制，当相机和红外感受到前方有障碍物时，会向控制芯片发送障碍物的位置信息，基于相机和红外的双模工作，确保对障碍规避的稳定性。

控制装置具体包括：九轴传感器、电机通信模块、无线蓝牙通信模块、控制芯片。以上传感器均安装在控制电路板上；控制电路板通过螺栓安装在与跳跃机构的电机盒部分进行连接。值得注意的是，由于跳跃任务对轻型化的要求，本次设计所使用的元器件均为低功率微型元件。

手机端 app，预期可以通过手机端向机构发送跳跃的方向、高度信息以及实现跳跃机构的平稳停止，完成对机构的全方位控制。

1.3.2 文章结构安排

全文的章节安排如下：

第一章：首先简单介绍了微小型智能跳跃机器人课题的研究背景及意义；然后介绍了目前相关仿生跳跃机器人的研究现状；最后描述了论文的研究内容以及整体架构。

第二章：微小型智能跳跃机器人。介绍了目前本机器人的主要组成零件，并对各零件的功能及参数进行了简要的介绍，也对跳跃机器人实现跳跃的整体流程与原理进行了介绍。

第三章：项目研究结果。本项目建模并实现了一种微小型智能跳跃机器人，基于碳纤维板的特性，突破了仿生机器人的生理极限，具有可观的跳跃高度。同时指出了项目的部分创新点与后续的改进优化方向。

2.微小型智能跳跃机器人

在该项目中，机械部分的设计主要参考相关研究自主建模设计，采用质量小、韧性强的碳纤维作为跳跃实现的主要部件，通过对电机的控制进而实现对跳跃的控制，结构巧妙且具有极高的效率。



图 2 微小型智能跳跃机器人实物图

2.1 碳纤维跳跃组件

碳纤维跳跃结构包括：跳跃用碳纤维片、十字形橡胶固定布、电源、电机、弹簧复位臂、闭锁以及多个钢质连接件。使用四个碳纤维作为跳跃主弓四个碳纤维片在两端分别通过两个十字形橡胶固定布进行固定，下端与地面接触，上端通过连接件与弹簧复位臂进行连接，弹簧复位臂上有一楔形滑块，楔形块连接在绳上，绳随电机做往复运动，当阻隔滑块运动到与闭锁相接触时，滑块将闭锁挤开，跳跃主弓产生巨大的瞬时力实现跳跃。通过电机的快速运动，实现跳跃主弓的弯曲和复原，完成跳跃并落地，实现往复的运动过程。

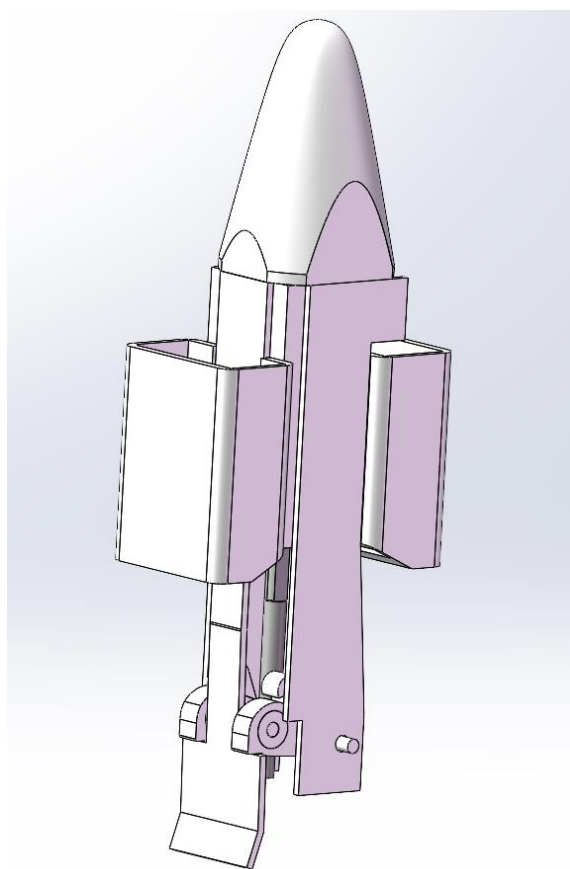


图 2.1 组合体三维图

以下是关于各主要部件部件的具体介绍：

2.1.1 碳纤维片

跳跃机器人主要依靠四个碳纤维片作为跳跃足，碳纤维片具有良好的韧性，弹性好，能在发生较大形变后迅速恢复到初始状态，是作为跳跃机器人跳

跃足的绝佳选择。我们主要选取了四根长 260mm，宽 6mm，厚 1mm 的碳纤维片作为跳跃足。除了作为跳跃足，因为其材料轻便，我们亦选取更小尺寸的碳纤维片作为辅助足，用于将机器人支撑站立。

2.1.2 电机

由于碳纤维片的韧性极好，弹性系数较大，因此实验部件对电机扭矩的要求较高，我们请教老师后，选取了参数为 6V，50r/min，减速比为 298 的 GA12-N20 微型直流减速马达，下面是电机的具体尺寸参数。

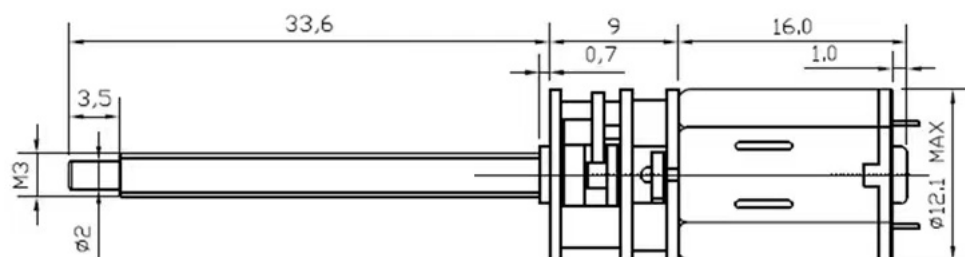


图 2.1.2 电机参数尺寸参数示意图

2.1.3 电源

基于电机参数与跳跃机器人的尺寸要求，我们选取了综合性能较好的中顺芯 7.4V，180mAh 聚合物锂电池。电源的尺寸小巧，满足微型跳跃机器人的需要，电源的更换也极为便利，能够满足微型机器人持续工作的需要。下面是电源的详细参数。



图 2.1.3 电源参数

2.1.4 锁存器

锁存器的主要功能是充当释放臂的支撑，当机器人在跳跃的准备阶段中，释放臂搭在锁存器上，使电机在旋转的过程中能将绳子缠绕在轴上，进而实现对跳跃的准备。当电机旋转到一定程度，固定在绳上的楔形会逐渐顶开锁存器，实现对绳的释放，实现跳跃机器人的跳跃。

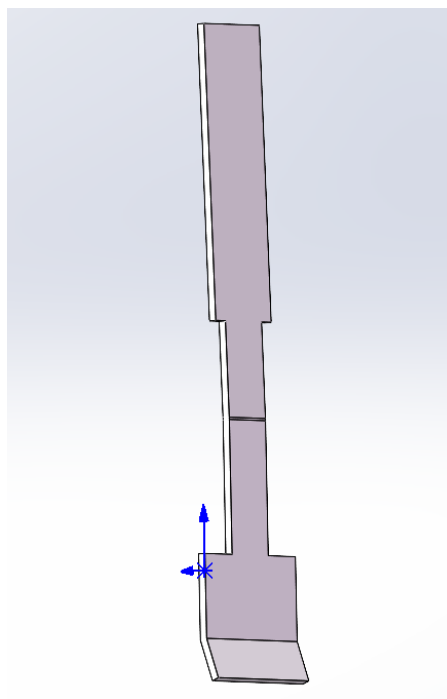


图 2.1.4 锁存器三维图

2.1.5 释放臂

释放臂的主要功能是释放在电机轴上缠绕的绳子，进而释放由碳纤维足储存的弹性势能，完成跳跃。由于在未释放绳子时，释放臂搭在锁存器上，会承载极大的压力，在释放后也会受到较大的冲击，因此我们选用不锈钢作为加工材料。我们在其后端两侧加工了两凸出的柱体，用于与吊臂上加工的孔配合，实现摆动轴线位置的确定。同时我们在前端两侧各开了一个直径 5mm 的通孔，在其中配合直径 5mm 的轴承，轴承间穿插一小金属柱条，便于在收缩时减少绳与其的摩擦。为了满足跳跃的可重复性，需要在其释放后仍能恢复到初始搭在锁存器的状态，我们在其两侧设计了挂钩，通过橡皮筋与电机盒连接，实现位置重置的需求。下面是其三维图展示。

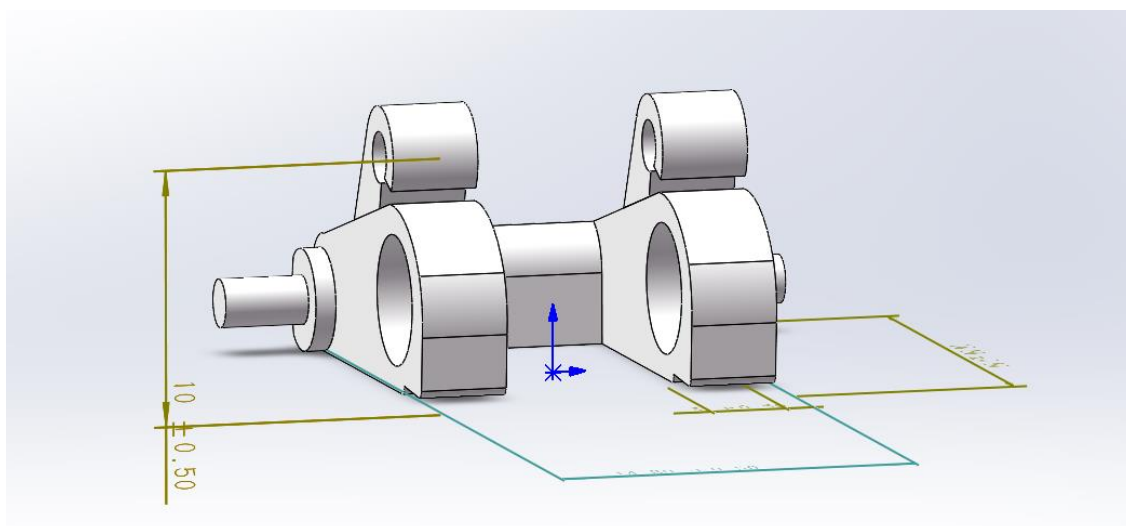


图 2.1.5 释放臂三维图

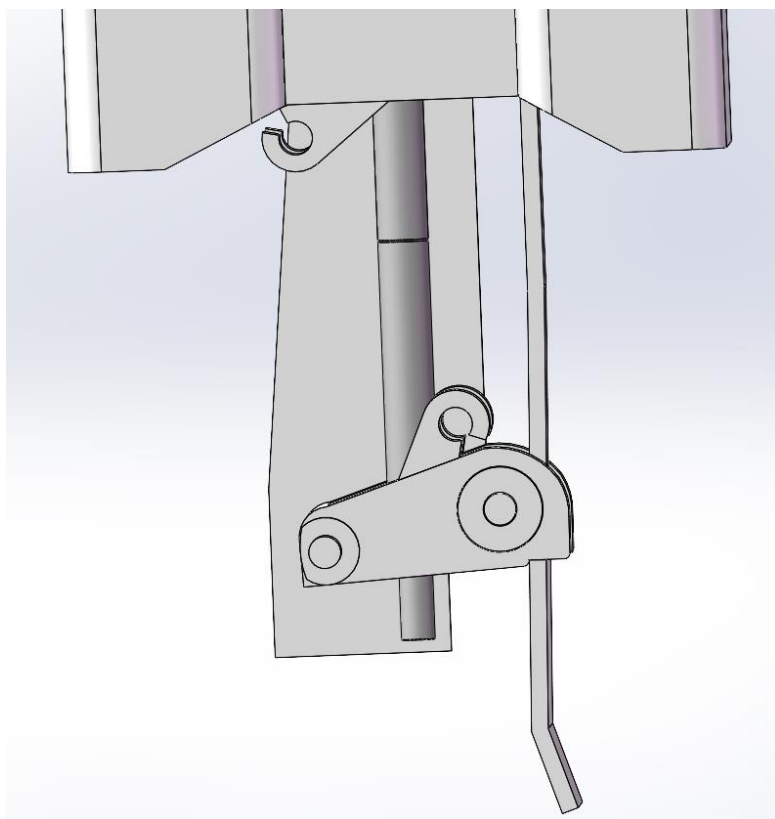


图 2.1.5 零件位置三维图

2.2 碳纤维跳跃组件跳跃原理

在跳跃初期，机器人整体横卧在地面，随着下达跳跃指令，机器人顶部的电机即开始工作，带动绳缠绕在电机轴上，绳下端连接碳纤维足与十字形橡胶固定布。随着绳子的不断缠绕，四个足会发生弯曲形变，逐渐鼓成“灯笼”状，在辅助足的支撑下，逐渐站立起来。当绳子缠绕一定长度后，连接在绳上的楔形块会上升到释放装置附近，随绳子缠绕其会顶到锁存器，搭在锁存器上的释放臂 会随之失去支撑，在绷紧的绳子的压力下迅速下摆，电机轴上的绳子会失去限位，对碳纤维足底部的拉力降为 0，碳纤维足迅速恢复原状，带动机器人整体向上跳跃。



图 2.2 跳跃原理图

3.项目研究成果

3.1 研究成果

本项目的阶段性成果：我们参考论文，初步实现了微小型智能跳跃机器人的模型建立与实现，其能够在电机不断的运转中，部分实现重复跳跃。

目前制造的模型跳跃的高度预估可达到 5m，跳跃的间隔时间为 10s，初步实现了对预期跳跃高度的要求。

本项目的创新点包括如下几点：

- 1) 该项目采用碳纤维作为跳跃的主要实现材料，机器人整体的质量控制到位，跳跃高度惊人。
- 2) 本项目采用的原理简明，机器人结构简单，在实际应用中稳定性较好，发生失效的概率较低。
- 3) 本项目中采用电机绕绳压缩碳纤维片来实现跳跃的准备，对机器人跳跃的控制仅需通过控制电机即可实现，大大降低了控制跳跃的难度。
- 4) 关于跳跃的可重复性，采用简单的橡皮筋便实现了位置重置，节约成本且简单易行。

3.2 继续研究计划

1. 存在的问题：

- 1) 还没有实现机器人跳跃方向的控制和空中姿态的控制
- 2) 起跳时释放机构不能及时释放，偶见卡顿
- 3) 碳纤维板在多次收缩后容易出现剥落的现象

2. 拟解决的措施：

- 1) 改进机械结构
- 2) 开始控制部分的设计与调试
- 3) 改进零件相互配合的方式

致 谢

本论文是在魏敦文老师的悉心指导下完成的，我们要向魏敦文老师表达我们最真挚的感谢。感谢您在智能跳跃机器人项目中给予我们的指导和支持。您的专业知识和经验对我们的项目起到了至关重要的作用。您不仅仅是一位优秀的老师，更是一位慷慨、耐心、负责任的导师。在您的帮助下，我们才能不断

顺利地推进这个项目，取得当下的成果。再次感谢您对我们的支持和鼓励，祝愿您工作顺利，身体健康!