

水陆两栖勘测云机器蛇

学生类别：

本科

作者：

李鹏程 王刘鄞 王旭茹 何官佑 郭文静

所属领域：

信息技术（包括计算机、电信、通讯、电子等）

摘要

8.7 舟曲县特大泥石流灾害，曾造成多条道路损毁，其中狭窄崎岖的受灾地形加大了救灾人员勘测的难度，导致勘测人员无法进行救援路径的规划，使得多数受灾人员无法得到及时救助。这时，一种灵活防水且可勘测复杂地形的勘测器就显得尤为重要。鉴于此，本团队设计了一种水陆两栖、行进灵活、成本低廉、功能集成度高的“无肢”仿生蛇形机器人，可用于勘测水涝、泥石流滑坡等灾情事故和相应环境的检测，服务一线勘测工作人员。

本团队研制出一种基于 IDT WP3W-RK 无线充电模块并且可以闭环控制的水陆两栖勘测云机器蛇。首先，蛇体主体结构采用 **3D 打印技术**快速成型，降低了生产成本，本团队提出 **陆机从动轮式结构和海蛇仿生结构相结合的创意**，既能实现陆地 S 型蜿蜒行进也能实现浅水中的上浮下潜；其次，在防水性方面，本团队 **设计出螺纹双凹槽防水结构**，并结合了关节螺旋接口设计，多重防水设计降低了蛇体在液体环境下渗液的风险；同时，蛇体搭载 **主动光源双目摄像头**，可实现无昼夜限制的视频图像采集、目标识别及跟踪拍摄的功能，本项目在上位机进行深度图像的 **三维建模**，实现 VR 沉浸式勘测；此外，其借助 **云端互联**，搭建数据库，实现数据的分布式计算和云端共享，即数据存储、数据调用和数据处理等；最后，蛇体内置 **IDT WP3W-RK 无线充电模块**，这种非接触式充电能解决有线充电带来的不便。

水陆两栖勘测云机器蛇以云和互联网为辅助平台，以 **嵌入式系统设计平台 NI myRIO** 为核心，**微控制器 STM32** 为从机，**LabVIEW 上位机** 为交互软件，无线遥控手柄通过蓝牙或上位机通过 Wi-Fi 发送指令，从而实现水陆两栖勘测云机器蛇运动状态的切换，即前进、后退、上浮、下潜。蛇体搭载的多种传感器采回环境参数，**GPS 定位模块** 采集位置信息，并且借助蛇尾天线返回至 **LabVIEW 多控件面板端** 进行显示，实现互联云端。

本项目融合 3D 打印、嵌入式控制处理系统、云端互联、VR 三维建模、IDT WP3W-RK 无线充电模块、LabVIEW 交互界面等多种技术，具有 **水陆两栖行进、无线回传环境勘测参数、成本低廉** 等特点，可实现陆上、水下的勘测作业。因此，其可广泛应用于自然灾害导致的狭窄地形的勘测、输油输气输水管道的检修、城市下水管道疏通、浅海水产养殖的巡视作业、军事侦察等领域，发展前景较为广阔。

关键词：IDT WP3W-RK 无线充电模块 仿生 水陆作业 双目摄像头 LabVIEW 嵌入式

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	3
1.2 研究现状	4
1.3 研究目的	5
1.4 创新技术	5
1.5 系统主要功能	8
1.5.1 勘测狭窄路径	8
1.5.2 管道内部的勘测	9
1.5.3 浅水监测	9
1.5.4 水陆侦查	10
1.6 应用前景	10
1.6.1 灾后救援路径的勘测	11
1.6.2 管道的检修和疏通	11
1.6.3 水产养殖的巡视作业	13
1.6.4 军事领域的侦查	13
第二章 系统设计	15
2.1 系统设计理念	17
2.2 系统整体架构	19
2.3 系统功能模块	21
2.3.1 运动模块	21
2.3.2 防水模块	22
2.3.3 IDT WP3W-RK 无线充电模块	24

2.3.4	嵌入式系统控制模块	25
2.3.5	云计算模块	27
2.3.6	VR 三维视觉模块	27
2.4	系统技术难点	28
2.4.1	陆上行进	28
2.4.2	蛇体防水设计	29
2.4.3	电源管理	29
2.4.4	回传参数可视化	29
2.4.5	系统控制	30
2.4.6	VR 三维建模处理	30
2.4.7	人机交互界面	30
2.4.8	云端互联技术	31
第三章	项目技术实现与分析	32
3.1	电气部分	34
3.1.1	嵌入式主控制板	34
3.1.2	从机控制板	34
3.1.3	蛇载传感器	35
3.1.4	电源模块	36
3.1.5	IDT WP3W-RK 无线充电模块模块	37
3.1.6	双目摄像头	38
3.2	机械部分	38
3.2.1	正交舵机组	40
3.2.2	柔性关节	40
3.2.3	刚性关节	41
3.2.4	关节接口螺旋设计	42

3.3 卡尔曼滤波算法.....	44
3.3.1 坐标系.....	47
3.4 上位机设计.....	49
3.5 基于 NI myRIO 的 LabVIEW 交互界面设计.....	50
3.5.1 背景.....	50
3.5.2 NI myRIO 简要介绍.....	51
3.5.3 LabVIEW 优势.....	51
3.5.4 LabVIEW 用户界面.....	52
3.5.5 模拟蛇头及其程序图.....	58
3.6 云端互联.....	60
3.6.1 云端互联.....	60
3.6.2 云计算优化算法.....	63
3.6.3 虚拟化技术.....	65
3.6.4 虚拟机的动态整合.....	67
3.6.5 技术优化和发展前景.....	67
第四章 系统测试.....	69
4.1 实验室测试.....	71
4.2 陆地测试.....	72
4.3 水下测试.....	74
4.4 云端互联测试.....	75
4.5 VR 三维环境建模测试.....	76
第五章 总结与展望.....	78
致谢.....	82
参考文献.....	84
附录.....	86

第一章 绪论



1.1 研究背景

自 2008 年汶川地震之后,中国国内自然灾害发生的频率越来越高,例如 2010 年 8 月 7 日发生的青海舟曲泥石流灾害、2013 年 4 月 20 日发生的四川雅安地震等。因此,灾难发生之后的勘测工作也愈发引起人们的重视,复杂狭窄的地形及恶劣的作业环境对勘测机器人的运动能力提出了更加苛刻的要求。与此同时,2011 年 3 月 12 日福岛核电站的泄露事件,更加突出了水下人工作业的危险性与机器代替人工的重要性。这些事件引发了了国人对我国救援工作及海洋勘测技术的关注,本项目团队针对以上的事件进行思考:我们能否设计出一种既能帮助救援人员勘测复杂狭窄地形又能应用于水下相关环境勘测(如:水中输油管道检测)的水陆两栖机器人,以提高救援效率,保证水下环境的清洁和安全。

在陆地环境作业时,救援人员往往因自然灾害导致的地形曲折狭窄、复杂未知而无法展开勘测工作,这就需要体型较小、运动灵活的机器人来完成这一工作,为救援人员规划安全的救援路径。而在野外勘测及作业中,沼泽或浅滩等水陆环境要求机器人具有优良的防水能力和水中运动能力。另外,由于陆地环境十分复杂(如沙漠湿地等环境),已有的机器人往往因续航能力低、适应能力差导致其适用范围较窄,无法达到工作人员期望的目标。

在水中环境作业时,人的潜水深度有限,现有的载人潜水器安全系数较低,因此,水下机器人应运而生。然而传统的水下机器人体积较大,容易因不易操控、开环控制而迷失方向。其中,由涡轮机驱动的机器人,其自身结构不仅限制了其进入管道工作的能力,而且限制了其灵活性,尤其途经海岸浅滩时,涡轮机会卷起沉淀物或被海草缠绕,对推进器造成巨大损伤。此外,因涡轮机的螺旋桨噪声较大、隐蔽性低,其在军事应用中很容易被敌人发现。

水陆两栖勘测云机器蛇不同于已有的机器人,它具有**独特的运动方式和仿生机械结构**,在陆地上,**低重心的行走方式**使其运动更具有稳定性,从而增强其行进效果;而在水中,水陆两栖勘测云机器蛇能够通过**蛇体与水流摩擦产生前进的**

动力，噪声低、灵活性高。因此，其具有**复杂环境适应力强、结构合理、性能可靠、可扩展性强**等特点，可以在危险和复杂环境中代替人类进行勘测及操作，具有重要的应用价值。

因此，设计一种既可以在陆地复杂多变的环境中进行勘测，又可以在未知的水下行进、进行环境监测和回传环境参数的蛇形机器人，对于环境勘测以及灾难救援等领域具有长远的发展意义和重要的应用价值。

1.2 研究现状

机器人的移动方式主要有轮、腿、履带和无肢运动等。蛇形机器人的运动方式是典型的“无肢”运动。国外在蛇形机器人方面进行了一定的研究工作,如美国、日本、德国、英国、法国等国家都开展了蛇形机器人工作 ,并研制出相应样机。

2012 年，日本 HiBot 公司研制一款仿生机器蛇，可以在水中自由游动。这款 ACM-R5 机器人，在陆地上就像儿童的一个奢侈玩具，但当放入水中就活跃地游动着。未来其可作为威胁性携带武器。

2013 年，美国研究人员开发出一种仿生机器蛇，这种蛇可以在任何物体攀爬，可用于探索一些人类很难前往的区域，比如地震破坏后的灾区，也可以用于急救和军事用途。

2016 年，挪威特隆赫姆科技工业研究院的一支研究小组在研究如何利用机器蛇在环境恶劣的火星表面收集样本。这项可行性研究旨在让机器人拥有比传统漫游者更大的机动能力。

同时，我国在蛇形机器人方面也投入了许多研究。由中国科学院沈阳自动化研究所研制的水陆两栖蛇形机器人由多个模块组成，可相对转动连接，蛇体灵活，自由度高，**但其成本较高，人机交互较差**。南京航空航天大学设计出基于多自由度柔性运动单元的水陆两栖蛇形机器人，可实现多自由度的运动。**但其结构复杂，**

故障率高。

由此可见，国内外研究成果虽各有优势，但对于大量数据的有效处理和分析较少，普遍存在操作不便、功能单一、功耗大、制作成本高以及勘测难度大等缺点。因此，针对这些不足，本团队对蛇形机器人进行相应的研究和创新，使其具有体态轻盈、行动灵活、成本低廉、生产方便、充电便捷、人机交互友好、防水功能强、可进行云端互联和 VR 三维建模等优势，从而为操作人员的勘测工作提供便利。

1.3 研究目的

目前我国灾情频发，管道建设故障频出，环境勘测任务十分艰巨，单纯靠人力不仅费时费力，而且效果也不尽人意。研究所，勘测机关等部门对于能够在陆地进行勘测、在水下进行环境监测、并且可以较强适应环境，满足数据回传机器人的需求日益迫切，若能设计一套完整的系统满足其需求，则可以极大程度上提高勘测结果的准确性，助力一线工作人员，克服由于过度依赖人员或已有的机器人而产生的成本高、精度差、效率低等弊病。

鉴于此，本团队设计出一种可应用于水陆两栖复杂环境勘测领域的云机器蛇，可帮助相关部门操作人员进行勘测和数据的分析处理，为其提供便利。本项目可用于灾后救援路径的勘测、水下输油管道的检修及城市下水管道的疏通、水产养殖业的巡视作业以及军事领域的侦查等，未来也可为设备检修以及航空航天等领域提供更多的帮助。

1.4 创新技术

根据现实存在的需求和国内外相关技术的研究，本团队设计了水陆两栖勘测云机器蛇，其创新技术具体表现为以下几个方面：

1. 螺纹双凹槽防水设计

本项目接口处防水设计最开始用螺纹拧合技术，但是其导致舵机中心轴偏移。然后，本团队利用单螺纹插销技术，但是其导致了螺纹渗水。之后，本团队利用单凹槽拧合技术，但是其导致了舵机的固定松动。最终，本团队经过严密思考，完成了螺纹双凹槽结构的防水设计。本项目采用刚性关节公头和母头拧合原理，利用凹槽卡紧技术配合螺纹旋转卡死，形成**双重凹槽防水结构**，外部附加螺纹，可有效实现防水功能。

2. 从动轮式行进技术

不同于传统常见的驱动轮行进技术，从动轮可解决驱动轮所带来的电量消耗过大、防水功能差等问题，更加贴近仿生功能。对于陆上平原草地等起伏不大的地形，可使用从动轮行进技术实现蛇体和地面的恒距悬浮，避开坎坷的路面，扩大机器蛇的适用范围。

3. 融合控件交互窗口

LabVIEW 上位机交互软件融合**多种显示控件窗口**。**多仪表盘面板**可显示蛇体姿态信息、轨迹等运动信息，**GPS 定位窗口**可显示水陆两栖勘测云机器蛇的位置信息，**图像回传窗口**可显示主动光源双目摄像头拍摄画面数据，利用**深度信息**和**三维重建图像算法**，在环境重建面板搭建三维模型，增强操作人员人机交互友好性，方便其随时查看回传数据。

4. VR 三维建模技术

蛇头搭载自选择性主动光源双目摄像头，根据作业需求调整光源亮度，拍摄回传深度图像。经上位机图像回传窗口显示后，本项目可通过计算机图形学，利用**基于图像建模**和**基于几何建模**相结合的混合 VR 环境建模方法，改善临场感，提高模拟环境模型的自主性，同时配合 VR 虚拟现实眼镜，进行三维虚拟现实沉浸式勘测，增强人机交互的实时性、便利性、可视化。

5. 关节快速成型技术

蛇体刚性关节由**3D 打印技术**完成。本团队使用三维建模软件 Pro/E、3ds Max

构建关节立体模型，经切片后采用 3D 打印技术快速成型，**缩短模型检验矫正周期，降低生产成本**，适用于蛇体关节模型频繁修改的情况。

6.云端互联

SSH 协议作为远程登录会话和为其他网络服务提供安全性的协议，可实现 PC 端到云端的远程连接，并访问或上传所需数据，云端对上传数据进行**分类存储、分区调用**，嵌入式系统 NI MyRIO 借助 MySQL 实现云端互联。与此同时，本团队借助云计算平台，托管处理海量传回信息，方便开发人员分析运行日志。

7.单元模块化

针对传统的机器蛇，大多数设计人员将其固化为一体，不可拆卸，这样虽然能完成防水密闭性检验，提高系统的鲁棒性，但对于日常维护改进难以进行。

本项目采用单元模块化设计，**刚性关节与柔性关节交替组合**，配合**螺纹双凹槽设计和接口螺旋设计**，有效解决了防水和拆卸问题，增强整体稳定性和可升级维护性。

8.IDT WP3W-RK 无线充电模块模块

本项目利用 IDT WP3W-RK 无线充电模块技术对蛇体电池进行便捷充电。水陆两栖勘测云机器蛇的单元模块中安装 IDT WP3W-RK 无线充电模块接收装置，结合 **RC 振荡、滤波电路和稳压模块**，对电磁感应电动势进行滤波稳压等操作，为作品的充电提供便利。

9.GPS 定位模块

全球定位系统是一个精密复杂的系统，但本项目在蛇体搭载的基于 GlobalTech Gms-u1LPGPS 模块的 PmodGPS 可实现**图形化的蛇体定位**，人机交互软件 LabVIEW 定位窗口显示蛇体位置信息，进而可得到其方位、运动速度等信息，有利于操作人员监测蛇体位置，提高其操作的可靠性。

1.5 系统主要功能

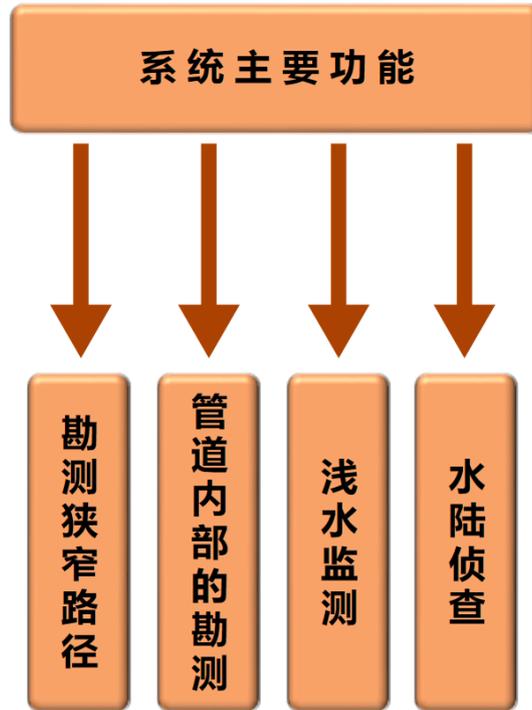


图 1.1 主要系统功能架构

1.5.1 勘测狭窄路径

本项目体积较小，可应用于穿越狭窄路径，进行路径的搜寻工作。其具有加速度、磁强计等多种传感器，可进行自身姿态信息的采集和回传，在**嵌入式系统板 NI myRIO** 平台上通过 **PID 算法** 进行处理，产生相应的数据反馈，**微控制器 STM32** 进行舵机组的规律控制，及时调节自身状态和运动模式，从而适应狭窄路径的搜寻工作。

大多数陆地行进方式都是由与地面摩擦提供的反作用力来完成行进动作，本团队考虑到所设计的系统关节主要由 3D 打印的关节构成，耐磨性不够，伸缩运动或直线运动步态容易造成 3D 打印的蛇体磨损而破坏其防水性，难以适应摩擦频繁的地域。因此，本团队在刚性有轮关节上设计八个轮槽，将从动轮均匀外嵌

入**轮槽**有效抬高了蛇体，能够避开陆地的小起伏。运动时，其借助固定在蛇体表面的轮子使蛇体纵向和横向与地面产生摩擦力，从而推动蛇形机器人蜿蜒爬行，进行狭窄路径的探索。

蛇体的**防水结构**保证其可在泥泞环境下进行作业，保障电气连接的可靠性和可控性。水陆两栖勘测云机器蛇可在上位机的控制下利用**主动光源双目摄像头**进行图像的拍摄，并且回传至上位机在 LabVIEW 人机交互软件界面上显示，帮助操作人员在狭窄崎岖的地形环境下进行具体路径的确定。

1.5.2 管道内部的勘测

由于管道内壁附有液体、不确定的阻碍多，水陆两栖的行进功能可适应该种潮湿多阻碍的环境，而**主动光源双目摄像头**可以在**阴暗的管道中进行照明并拍摄图像**，从而回传至上位机，操作人员可利用上位机进行管道内部的勘测，执行相应作业。

蛇体搭载了**加速度磁强计、陀螺仪等多种传感器**，可实时采集到蛇体加速度，俯仰角，偏角等参数，大量采集到的传感器参数通过嵌入式系统 NI myRIO 回传上位机 PC 进行处理，通过开发 LabVIEW 人机交互界面控件，操作人员可及时了解蛇体运动状况和周围环境情况，从而下达下一步指令。

本项目利用人机交互软件 LabVIEW 编写上位机人机交互界面，通过**多个仪表盘协同合作**，能够及时显示各种传感器的回传参数信息，方便操作人员及时发现并查看异常管道。主动光源双目摄像头可实现在阴暗环境下对光线亮度的调整，并结合双目摄像头拍摄管道图像，操作人员可根据采集的图像进行客观分析，从而得到泄露点和破损处的位置信息，观察管道杂物的形态。

1.5.3 浅水监测

蛇体利用**3D 打印技术**搭建，同时配以**钢圈软管**，从而使得水陆两栖勘测云机器蛇可进行浅水作业。

浅水亮度较暗，可利用主动光源进行亮度的调节，双目摄像头可进行水下环境的拍摄，蛇体搭载的多种传感器可将其相关参数回传至 LabVIEW 人机交互软件，利用云端互联，将相应数据上传至云，实现资源的共享和数据的海量存储。

云被誉为“第三次 IT 浪潮”将水陆两栖勘测蛇形机器人与云结合，通过 Azure 云来开发实现蛇形机器人与云端的数据交换处理功能。在实际操作设计时，通过搭建编译环境，将主控设备与云端服务器互服务器互联实现数据传输功能，完成蛇体回传数据的服务管理，并为用户提供访问接口。云端记录浅水环境参数，从而生成日志，方便操作人员查看。

1.5.4 水陆侦查

在现代战争和国防保护中，水陆环境的侦查占据重要地位。隐蔽的侦查和水陆环境照片的获取可帮助工作人员构建**三维模型**，分析相关形势，进而制定合理的作战规划。

水陆两栖勘测云机器蛇能够通过前端**主动光源双目摄像头拍摄图像**，利用其体积小特点提高隐蔽性。**仿生蛇形的前行方式**降低了噪声，克服了被水草缠绕的困难，提高了可靠性；两栖的运动结构和防水设计使得一套设备可应用于多种使用场景，**降低了勘测侦查的成本**。

与此同时，常见的单目摄像头采集的图像信息较少，难以获得深度信息进行三维建模。蛇体搭载的主动光源双目摄像头可将拍摄的画面回传至上位机人机交互界面，上位机通过**图像建模算法**，应用模型分割、实例化、纹理映射技术进行模型处理后，操作人员可得到蛇体所处环境的三维建模图，便于其把握整体环境进行相关作业。同时，回传的双目视觉画面可配合 VR 眼镜以虚拟现实视角进行作业。借助虚拟现实侦查，操作人员在一定程度上能改善任务执行的质量，提高工作效率。

1.6 应用前景

鉴于本项目水陆两栖勘测云机器蛇运动灵活、功能集成度高、可拓展性强等特点，其不仅适用于陆地环境的勘察，也能在水下完成勘测任务，因此，本项目广泛应用于以下五个方面。

1.6.1 灾后救援路径的勘测

自从 2008 年汶川地震以来，我国自然灾害发生率不断上升。灾情救援工作无疑是重中之重。在抢险救灾工作开展的同时，救援人员在抢险道路上也面临着许多困难，如环境恶劣、灾后可行路径狭窄、人员可勘测范围较小，可行路线被切断等问题。

鉴于此，本项目团队设计的水陆两栖勘测云机器蛇可在抢险救灾一线发挥重要作用。首先，因其具有灵活的运动方式和仿生式的身体结构，所以其可在坍塌建筑物、碎石、泥泞、水湾等灾后地形中行进自如，到达救援工作者难以到达或环境状况未知的地区。其次，其蛇头搭载的主动光源双目摄像头可将灾后地形实时回传给救援人员，便于救援人员获取灾后地区的受损情况。此外，蛇身可进行 GPS 定位，实时回传其位置坐标信息，与同时回传来的视频图像相结合，便于救援人员制定抢险救灾计划，节省时间，保障救援人员的安全，提高救援工作的效率。

1.6.2 管道的检修和疏通

近年来，随着我国管道建设事业的飞速发展，越来越多的油气管道，输水管道，下水管道等纵横交错地出现在我国广袤的大地上。管道的建设使油气资源和污水的远距离运输成为可能，便利了人民的生活。然而，其带来的弊端也显而易见，例如油气、天然气泄露问题，输水管道炸裂的问题，下水管道堵塞的问题等。

本团队设计的水陆两栖勘测云机器蛇可以适应油气管道的特殊环境，克服输水管道或下水管道压力较大的困难，从而实现管道的检修和疏通。

在检修方面，主要应用场景为：当油气管道和输水管道破损时，蛇体可以在

这些特殊环境中实现灵活行进，向工作人员展示管道内以及管道壁的情况，方便工作人员及时对管道进行排查和检修（如图 1.2）；在疏通方面，主要应用场景为：当下水管道内堵塞或杂物过多时，本团队设计多种蛇头来应对不同情况，例如：塑料袋等轻型漂浮物——携带机械手的蛇头，坚硬或重型物质——钢材蛇头等（如图 1.3）。其可以实现对管道内杂物的及时清理，从而预防堵塞情况的出现。

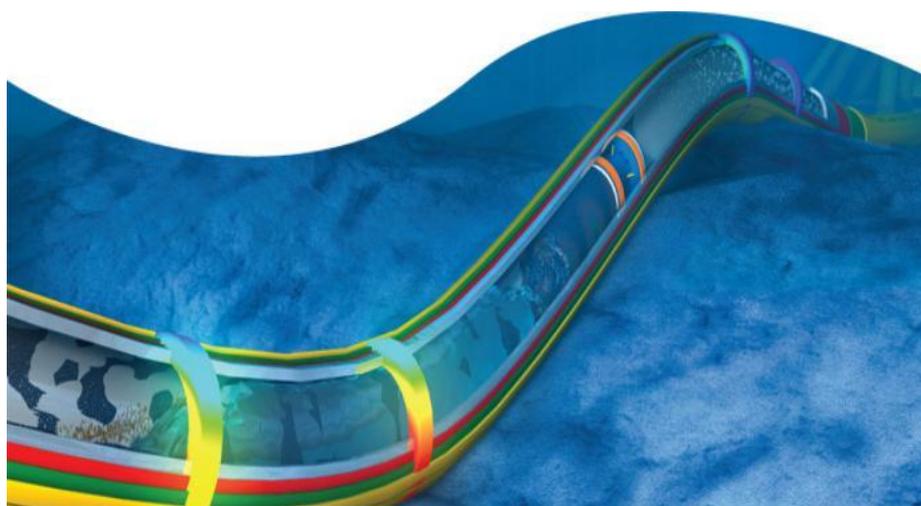


图 1.2 管道检修



图 1.3 管道疏通

1.6.3 水产养殖的巡视作业

水产养殖巡视一直存在巡视不便的弊端。本团队设计的水陆两栖勘测云机器蛇可以很好的解决这一问题，给水产养殖户带来福音。首先，本项目的蛇体具有肢体柔软可弯曲的仿生结构，在水中可自由上浮下潜，运动到水产品周边进行详细观测，并且不影响这些水产品的正常生长或生活习惯；其次，机器蛇头上搭载的主动光源双目摄像头可以将水产品的实时动态传输给养殖户；除此以外，云端互联可以将生长数据存储记录，便于养殖户管理与养殖；最后，本项目使用 3D 打印技术，成本费用较低，节省了养殖户的生产成本（如图 1.4）。



图 1.4 水产养殖

1.6.4 军事领域的侦查

传统的机器人大多通过涡轮机驱动，噪声较大，隐蔽性低。与此同时，传统的机器人体积较大，不易潜入狭窄的空间。而本团队设计的水陆两栖勘测云机器蛇具有隐蔽性好、噪声小、仿生行进的特点，所以其可以在军事领域发挥特长。

在陆地上，本团队设想让蛇形机器人分散前进，通过无线信号传播，PC 端接受回传至陆地的环境参数信号，从而获取敌人位置坐标，完成定点爆破、排雷等任务。

在水下，我们设想让潜艇在水下释放蛇形机器人集群，潜艇和蛇形机器人之

间利用声纳通讯，通过人机界面实时接收蛇形机器人采集到的环境信息，并根据这些信息向蛇形机器人集群发送相应的控制指令，以完成侦察敌情、定点爆破、水下排雷等任务（如图 1.5）。

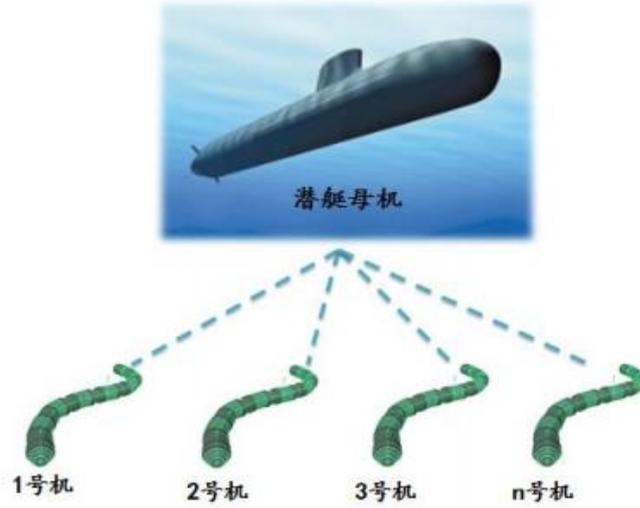


图 1.5 军事领域侦查

第二章 系统设计



2.1 系统设计理念

本项目以蛇体结构采用**从动轮式结构与蛇形仿生结构相结合**的形式,以嵌入式系统 **NI myRIO** 控制为核心,云计算和互联网为扩展平台,进行传感器数据的处理和分布式计算。

水陆两栖勘测云机器蛇的主控制板以嵌入式系统 NI myRIO 为核心,以专为实现**高性能、低成本、低功耗**的嵌入式应用专门设计的拥有 ARM Cortex-M3 内核的微控制器 STM32 为从机,使用**图形化编辑语言**——G 语言编写框图形式程序的 LabVIEW 平台为交互软件,通过无线遥控手柄或 PC 上位机发送指令进行水陆两栖勘测云机器蛇运动状态的切换。此外,蛇体搭载多种**传感器**采集环境参数,利用基于 GlobalTech Gms-u1LPGPS 模块的 PmodGPS 定位模块来获取蛇体相应的位置信息,并且将其返回至 LabVIEW,在控件面板端进行显示,用户连接登录云端,即可实现数据的云储存分析计算,此项设计便于工作者观测与分析环境性质。

本项目的**外形设计理念**主要体现在:采用**3D 打印技术**完成蛇体的主要结构,降低了成本;采用**从动轮式结构和蛇形仿生结构相结合**的创意,实现机器蛇既能在陆地上 S 型行进也能在水中上浮下潜;设计出一种**螺纹双凹槽与螺旋拧合相结合**的关节拼接方式,降低了蛇体在液体环境下渗液的风险。

在**功能设计理念**方面:首先,蛇体搭载**主动光源的双目摄像头**,可实现无昼夜限制的视频图像采集;另外,在数据回传方面,采用云计算技术,搭建数据库,实现数据的云端存储、调用和处理。再者,在供电设计方面,采用较大容量的**动力锂电池**提供充足动力,并且利用蛇体搭载 **IDT WP3W-RK 无线充电模块装置**,可使充电更加便利,解决有线充电带来的漏水以及充电不便的弊端。

本项目团队采用多种传感器、GPS 定位装置、IDT WP3W-RK 无线充电模块装置以及双目摄像头等元件集成模块,设计了一套集水陆两栖运动,环境参数采集回传、深度图像二次开发、VR 虚拟现实体验、云平台互联共享资源、IDT

WP3W-RK 无线充电模块等功能于一体的水

陆两栖勘测云机器蛇，可为一线勘测工作人员的工作提供便利。

2.2 系统整体架构

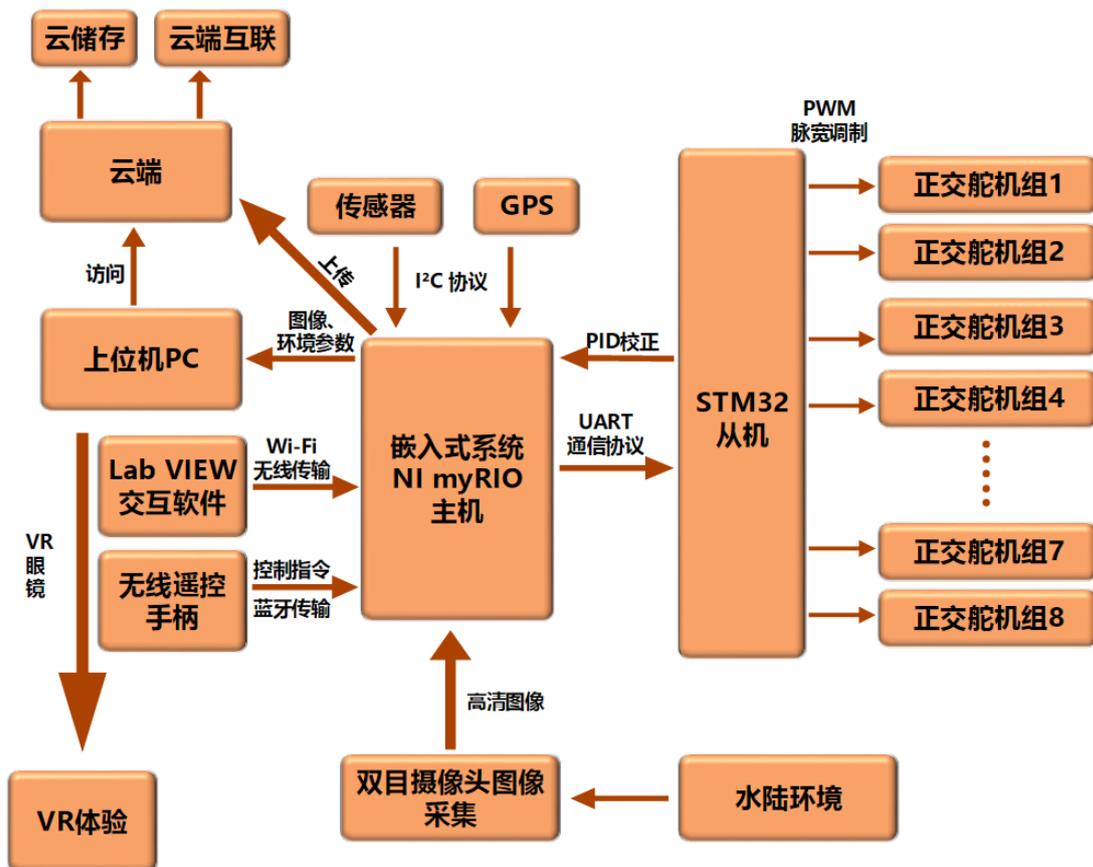


图 2.1 系统整体架构

本项目选用嵌入式系统对蛇体进行控制，融合云计算和 VR 三维建模的多层次系统架构实现对后期数据处理。

在系统控制方面，以嵌入式系统 NI myRIO 为核心板，操作人员可使用无线遥控手柄，对安装有无线接收模块的 NI myRIO 主控板进行远距离遥控，或者直接依靠上位机交互软件 LabVIEW，以无线局域网或串行实时连接的方式，将经交互软件编译解析后的控制指令固化至嵌入式系统 NI myRIO 主机，产生时序响应，并由专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用专门设计的 ARM

Cortex-M3 内核的微控制器 STM32 进行 PWM 脉宽调制，控制蛇体运动模式的规律切换，同时，其内部搭载的传感器也可在交互软件上进行实时显示。

在算法方面，本团队利用 **Kalman 滤波算法** 融合处理传感器数据，通过此，操作人员可得到基准校正后的蛇体姿态和运动状态，其次，主控制板可根据回传数据进行基于比例、积分、微分控制算法的 **PID 闭环控制算法**（如图 2.2），这使操作人员可据此调节蛇体基准运动偏移和姿态漂移，增强蛇体运动的鲁棒性和反馈机制。

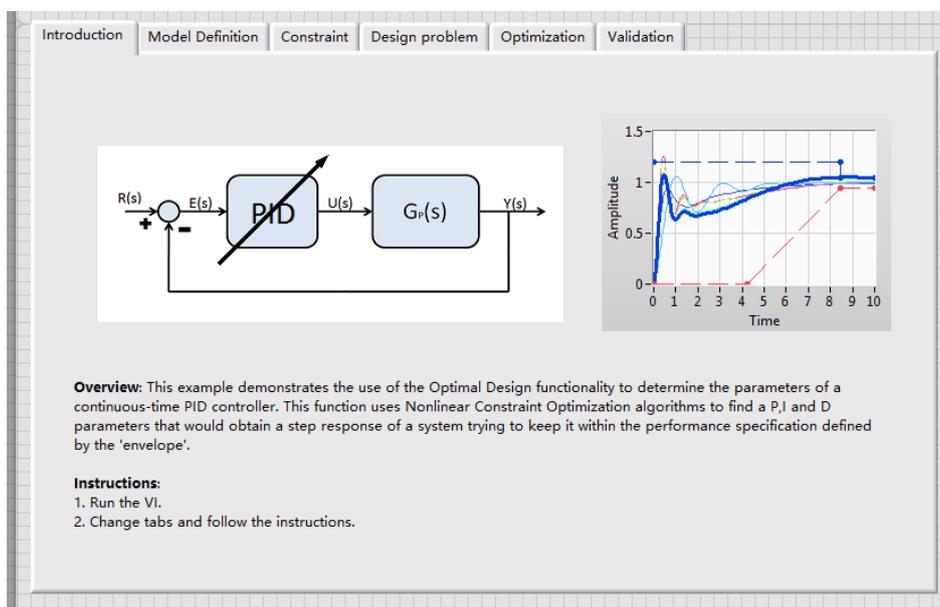


图 2.2 PID 控制前面板

在视频图像采集方面，本项目采用蛇头主动光源双目摄像头实时拍摄环境图像，利用**图像识别和跟踪技术**，完成摄像头对环境中某些特定需求目标的选择性识别和跟踪拍摄，多角度获取其形态特点、运动状况等信息。此外，主机对所拍摄环境图像进行处理后，将其共享至云端或由蛇尾天线回传至 PC 上位机。经由**压缩解压、滤波去噪、图像数字化**等图像处理技术后，上位机对其通过交互软件 LabVIEW 可实现低延迟分屏区分显示，同时，操作者可通过佩戴 VR 眼镜获得沉浸式勘测，提高作业人员的工作效率和工作质量。

除此之外，本项目采用**螺纹双凹槽和外端螺旋接口结构**的防水设计，安装

IDT WP3W-RK 无线充电模块接收器模块，可拓展作品的运动范围，满足蛇体充电便利的需求，从而为操作人员提供更优选择。

2.3 系统功能模块

2.3.1 运动模块

水陆两栖勘测云机器蛇的水陆运动依赖于运动模块的驱动。本项目对于该驱动模块的设计，完成了如下要求：（1）在水下仿蛇游动，通过蛇体 S 型摆动和水流相互作用从而产生前进的推进力；（2）通过蛇头的转向原理，实现其在水中的灵活行进；（3）满足陆地行进的要求，要具备可跨越小起伏的地面、跨越草地等植被覆盖的地面、穿越沼泽、小水坑等泥泞地形的功能。

为实现上述的水中行进要求，本项目蛇体采用海蛇的仿生结构和 S 型游动动作组进行前进、后退、上浮、下潜、转向等姿态调整，蛇体凭借其灵活摆动的**仿生蛇体结构**和**正交舵机组**之间的配合，实现三维空间坐标系下蛇体的三维扭动；再者，其通过与水流的相互作用产生推进力，从而实现水下蛇体的姿态调整和运动模式切换。

为实现上述的陆地行进要求，本项目的运动模块设计了**从动轮式结构**，仿生蛇体结构以及从动轮和正交舵机组的整体构架。蛇体的扭动主要由正交舵机组实现：**PC 上位机串行控制正交舵机组**灵活摆动，并可通过**无线手柄**对其运动状态机进行切换，实现正交舵机组中平行地面舵机二维规律扭动。蛇体的进退以及悬浮凭借从动轮式结构来实现：通过其和地面产生摩擦推进效应，完成蛇体陆地前行、后退、转向等基本运动形态，其次，可通过从动轮的恒距悬浮作用实现蛇体的恒距悬浮，避开地面砂石、土坑等小起伏带来的阻碍，实现在陆地上的顺利行进。

以上运动模块均受控于嵌入式系统的主控板，最终实现蛇体水陆两栖运动。

2.3.2 防水模块

两栖运动的蛇形机器人的设计不仅需要解决能够在陆地干燥的环境下正常运行的问题，而且需要解决潮湿环境下电气元件容易短路受损的问题，所以防水性能直接影响其内部电器元件的工作情况。本项目对防水模块进行多次的修改完善，最终确定采用**螺纹双凹槽和外端螺旋接口结构的防水设计**。

项目初期，有轮关节和无轮关节的接口设计由于螺纹拧合导致边缘性拧合不齐而无法运动。因此，本团队将其修改为单凹槽卡紧结构，但是这种结构造成了压紧缝隙性渗水问题。最终本团队决定在刚性关节之间采用螺纹双凹槽结构，与刚性关节和柔性关节之间外端螺旋接口结构的防水设计共同构成防水模块，保证了蛇体能在水陆环境下正常工作。较为突出的防水结构设计如下所示：

1.采用具有较低收缩率和熔体强度的 PLA 耗材，以 0.1mm 精度和较高填充度的 3D 打印技术打印各部分关节以及零件，增大表面耗材丝密度，并且外涂防水胶，防止因 3D 打印关节表面存在细小缝隙而渗水的问题发生；

2.刚性关节由有轮关节和无轮关节构成，两者之间通过螺纹双凹槽结构进行连接，从而实现防水功能。

有轮关节（如图 2.3）通过外置轮槽和内部加厚侧壁的设计来实现防水。外置轮槽设计不仅能够避免内嵌轮槽所带来的漏水风险，也有利于安装拆卸，操作更加方便。内部加厚侧壁设计不仅能够起到防水作用，而且能够提高蛇体的抗压能力，保证内部电器元件不因外界压力而损伤。

无轮关节（如图 2.4）通过双层加厚内壁来实现防水。无轮关节外伸两公头，外公头具有拧合螺纹。有轮关节内嵌两母头凹槽，外凹槽具有与其匹配的拧合螺纹，能够与无轮关节公头的的螺纹拧合，形成螺纹双凹槽防水结构。在两凹槽内放置**自制硅胶防水柔性垫圈**提高气密性，螺纹卡紧后，双凹槽结构中公头压紧有轮关节双母头中自制硅胶防水柔性垫圈，利用**双垫圈、双禁止回流槽**来防止水的渗入，从而实现防水的双层保证，提高了防水性能。



图 2.3 有轮关节的母头



图 2.4 无轮关节的公头

3.利用螺旋结构和末端涂抹橡胶和少量防水胶来解决柔性关节连接出现的物理渗漏问题。

柔性关节是蛇体柔韧度的保证（如图 2.5）其主要包含钢丝圈、PU 软管和内部运动正交舵机模组。

韧性的柔性关节提高了蛇体的灵活性和可靠性，但是其也导致蛇体产生了因与刚性关节联结不牢而漏水的问题，主要体现在螺旋的钢圈结构使得柔性关节和刚性关节之间的连接难以紧密无缝。本团队经过不断思考、设计和修正，利用刚性关节外端的螺旋结构实现刚性关节和螺旋软管相适应的难题，从而将两者螺旋部分的特征拧合，与此同时，末端外涂硅橡胶和少量防水胶，即可解决柔性关节和刚性关节之间连接的物理性渗漏问题。



图 2.5 柔性关节

2.3.3 IDT WP3W-RK 无线充电模块模块

机器蛇能够进行细致勘测工作，但陆地阻力较水中阻力大，所以其作业过程要求具有较好续航能力，因此本项目采取匹配**电池模组化结合稳压电路模块和 IDT WP3W-RK 无线充电模块接收模块**（如图 2.6）共同构成电源模块，实现机器蛇续航时间的延长，提高蛇体运动机能，扩大其作业范围和作业时间。

项目采用 **IDT WP3W-RK 无线充电模块**的方式进行非接触式的充电，蛇体借助外部大功率发射设备和内部匹配相应 **IDT WP3W-RK 无线充电模块接收装置**利用**电磁感应**可得到相应电压，并通过外围震荡滤波稳压电路模块，获取所需电压值，对相应锂电池进行 **IDT WP3W-RK 无线充电模块**，减轻充电人员负担，降低蛇体充电后漏水短路风险，实现保持蛇体完整性的前提下能够及时补充电能的目标，提高了机器蛇的续航能力。

系统不同模块对电流电压要求有异，嵌入式核心控制板 NI myRIO 采用 12V 供电，而 STM32 和正交舵机组采用 5V 供电。针对核心控制板 NI myRIO，项目将蛇头关节部分内置升压模块，可对供电的 12V 2200mAh 动力锂电池进行 **IDT WP3W-RK 无线充电模块**，并通过基于肖基特防反二极管的保护电路对核心控制板提供电能。而蛇体主体部分主要由正交舵机组和从机 STM32 构成，内置无线配套充电模块利用升压稳压电路对 3.7V 动力锂电池两块叠加串联后总电源进行供电，不仅可以实现蛇体内部空腔空间合理利用，增强蛇体的整体稳定性，还可由连接稳压模块，对舵机、微控制器 STM32 控制板进行稳定供电，保证了舵机组和方波脉冲信号端共地的硬性条件，实现了核心控制板和其余控制部分分开供电，减少了蛇体内部走线数量，避免舵机扭动产生缠绕断路现象。

在 **IDT WP3W-RK 无线充电模块**过程中，LED 电源指示灯将被点亮，指示正在充电，考虑到蛇体模块化的拼接和结构特点，若对蛇体进行拆解式充电，当用电量较大时，电池电压不足，舵机摆动带负载能力极大削弱。并且拆解充电方式会破坏蛇体模块化和防水特性，难以长期维护。采用 **IDT WP3W-RK 无线充电模块**技术，正常情况下上位机 LabVIEW 交互界面中电量管理窗口可实时监测电池

模组情况，对于电池电量不足的情况，可及时显示几号电池模组电量异常，从而提醒操作人员及时对该关节充电。

IDT WP3W-RK 无线充电模块技术不仅可以避免蛇体密封性和防水性受破坏，而且对于所需充电关节较多的情况，也可防止采用电源总线并联充电过程中因不同关节耗电量差异而造成互充和错充情况发生。

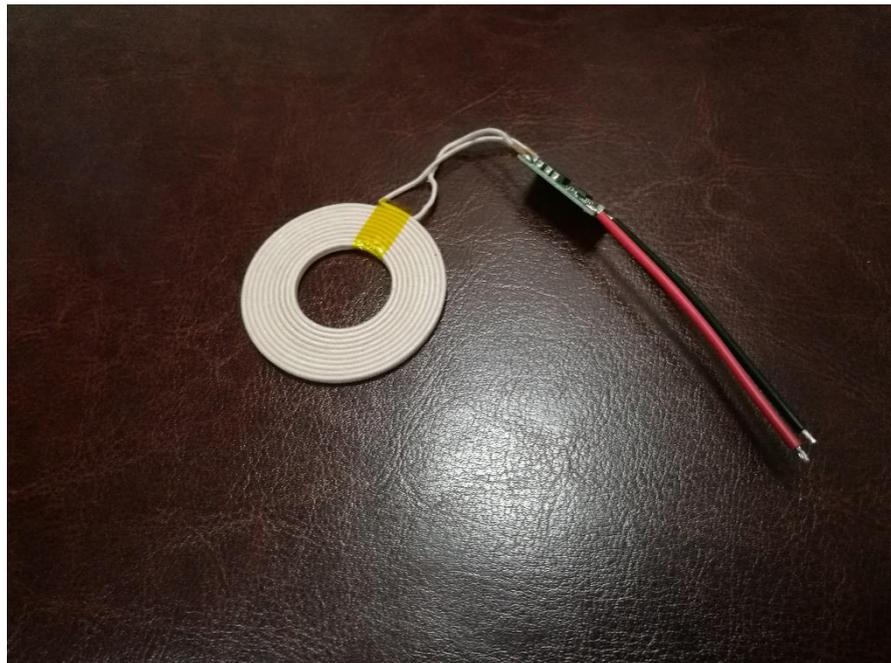


图 2.6 IDT WP3W-RK 无线充电模块

2.3.4 嵌入式系统控制模块

本项目的整机核心控制功能由嵌入式系统控制模块实现。该控制系统采用基于 Xilinx FPGA 和双核 ARM® Cortex™-A9 微处理器，其具有 10 条模拟输入线、6 条模拟输出线、40 条数字 I/O 线的以 NI myRIO（如图 2.7）为主控制板的嵌入式系统板，借助其灵敏的反应速度接收 PC 上位机通过无线局域网的互联下载方式或无线遥控手柄的低功耗蓝牙协议发出的无线控制指令，并对相关的图像或信息进行及时的解析，进而执行命令。

刚性关节电池盒底部搭载 STM32（如图 2.8）微控制器，从机不仅可以通过异步串口通信接收主控制板 NI myRIO 嵌入式系统的命令迅速产生响应，发出规律脉宽调制波，联合多从机协同合作，同时也可控制蛇体关节内 16 路舵机按照行波信号波形时序特点调整其初始角度、摆幅、相位差，以达到蛇体的姿态切换和运动形式的变动调整。

本项目的主机运算速度较快，运算效率较高，并且可对传感器的回传数据、利用 PmodGPS 定位技术定位的蛇体位置、速度、路径等信息和视觉模块回传的图像进行相应的处理分析、中转广播和云端互联。基于人机交互软件 LabVIEW 编程搭建的人机交互界面可以对传感器的回传数据进行融合处理，减小传感器因零点漂移而带来的累计积分误差，解决利用闭环控制算法 PID 维持蛇体姿态调整或运动方式变动所带来的稳定性突变的问题。

本项目通过以上主机和从机配合 PC 上位机软件共同形成一套较为完整的嵌入式控制模块，从而实现对水陆两栖勘测云机器蛇的无线有序控制。



图 2.7 NI myRIO 主控制板

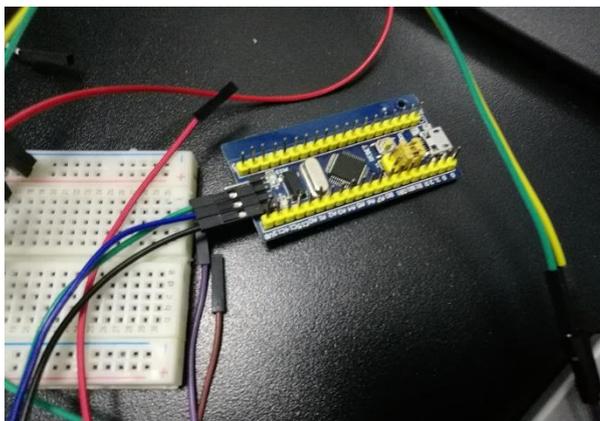


图 2.8 STM32 从控制板

2.3.5 云计算模块

云计算被誉为“第三次 IT 浪潮”，将水陆两栖勘测蛇形机器人与云计算技术相联系，可实现资源的云端共享和远程登录访问、下载等功能，从而提高蛇体功能的可扩展性。

本项目利用微软云、数据库、上位机和嵌入式系统板 NI myRIO 搭建云计算模块，开发并实现水陆两栖勘测蛇形机器人与云端进行数据交换处理的功能。在实际操作设计时，搭建编译环境以及实现设备与云端服务器的连接和数据传输是项目要攻克的主要难点。

2.3.6 三维视觉模块

水陆两栖勘测云机器蛇能利用蛇头搭载的主动光源双目摄像头拍摄图像，将其回传至上位机的人机交互界面，从而实现可视化，进行对相应环境的勘测，便于作业人员根据环境回传图像下达指令，完成相应的作业任务。

常见的单目摄像头难以获取深度信息，呈现在操作人员眼前仅为平面图。其只可依赖近大远小等基本的判断方法获取距离信息，对于上位机操作人员的经验和耐性要求较高。而本项目的三维视觉模块则可以分担操作人员的任务，降低操作难度，改善其作业质量和效率。

三维环境建模能够实现对环境的立体重建，其需要借助深度信息产生距离效应、凭借清晰图像中特定物体的形状特征绘制三维环境建模中物体的轮廓，并将图像信息中的色彩信息取样像素点，经模糊化处理后进行贴图纹理处理，最终实现图像回传信息中的三维环境建模。

本项目采用主动光源双目摄像头结合上位机图像处理软件实现三维视觉模块。蛇头搭载双目摄像头拍摄的环境画面，并将其回传至上位机人机交互界面，上位机通过取样点分析、模糊化处理、纹理贴图搭建、三维图像建模算法进行处

理后,可得到水陆两栖勘测云机器蛇视觉模块所拍摄的三维模型图,配以贴图纹理后可反映相应的环境情况。。

主动光源视觉模块的特点使得相关作业人员可根据任务实际需要设定点亮阈值或亮度变化区间,通过上位机交互界面,手动或自动根据光线亮暗情况开启摄像头前置光源和亮度调节功能,维持作业环境亮度的均匀性和稳定性。

上位机中的人机交互软件 LabVIEW 回传图像窗口可展现拍摄画面,利用编程的窗口实现物体识别和物体追踪功能,满足操作人员对于作业过程中特定物体的追踪拍摄需求,多角度反映特定物体的特点。

同时,本项目借助视觉模块获取图像的三维信息,在上位机网络摄像头回传控件窗口中可分屏显示携带深度信息的环境图像。其次,本项目也可配合 VR 眼镜实现以虚拟视角获取环境信息,在虚拟的三维环境中进行作业,提升操作交互的友好性、改善任务执行的质量和效率。

2.4 系统技术难点

2.4.1 陆上行进

常见的陆地作业机器人是由与地面摩擦提供的反作用力来完成相应的行进动作。本项目团队考虑到该作品——水陆两栖勘测云机器蛇的蛇体关节主要由 3D 打印技术完成,耐磨性不够,直接利用蛇体和地面进行摩擦容易磨损 3D 打印的蛇体从而破坏其防水性,这对蛇体陆地行进的结构设计是一个挑战。本项目团队需要克服其因与地面的摩擦而导致密封性差的困难,同时还需要满足其能够在陆地环境行进的需求。安装塑料轮实现前行,

鉴于此,本团队采用**从动轮式结构和安装塑料轮的方式**来解决该问题。本团队通过将**从动轮轮槽嵌入关节外部**,从而抬高蛇体,实现蛇体的恒距“悬浮”,与此同时,塑料轮和地面进行摩擦,减小了蛇体直接和地面接触而带来的损耗。

2.4.2 蛇体防水设计

本作品要求其能够在水陆两栖环境下均可正常作业。由于陆地较为干燥，因此，水中的防水设计成为项目的难点之一。

防水性能直接影响其内部电器元件的工作效果以及水陆两栖混合环境下特殊作业的完成结果。

因此，本项目提出了**螺纹双凹槽结构**和**刚性关节、柔性关节之间的外端螺旋接口设计**，同时在作品外涂抹防水胶，改善其防水性能。

2.4.3 电源管理

蛇体控制系统包括嵌入式系统主控制板、从控制板和运动模块中的正交舵机组。这些电气元件对供电电压和供电电流的要求存在差异，在供电过程中，容易遇到电量不足的问题。因此，本项目就面临着免拆解充电问题和对不同供电需求的电器元件进行充电的难题。

本项目采用**3.7V 动力锂电池串联的方式，结合稳压模块**，为舵机和控制板提供能量。当系统电量不足时，其可进行 IDT WP3W-RK 无线充电模块。非接触式的充电模式可应对因充电拆解蛇体而影响其密封性和防水性的状况。

2.4.4 回传参数可视化

蛇体搭载了 PmodGPS 定位模块和加速度磁强计陀螺仪等多种传感器，可实时采集蛇体的位置信息、加速度、俯仰角、偏角、速度等参数，大量的传感器参数通过嵌入式系统 NI myRIO 的快速处理后可回传至 PC 上位机进行相应的处理。但是，参数可视化对操作人员的指令规划和命令下达十分重要。因此，回传参数的可视化也是本项目需要克服的问题之一。

本项目利用 LabVIEW 交互软件中的控件面板进行**多仪表盘的窗口显示**，从而解决参数可视化的难题。

2.4.5 系统控制

由于蛇体关节内涉及的舵机数量较多，并且其含有的电气元件种类繁多、分布分散，因此，合理的系统控制也是该项目一大技术难点。例如，如何利用无线遥控设备或通过无线局域网，发送指令到主控制板，使其控制从控制板和正交舵机组，从而实现蛇体的运动状态切换；如何在发送解析切换状态指令的过程中，解决蛇体姿态调整或运动方式变动所带来的稳定性突变的问题；如何解决行进中遇到的小起伏阻碍问题及缓慢水流的阻挡使得蛇体失衡的问题等。

鉴于此，本项目的**嵌入式系统架构以 NI myRIO 作为核心**，通过连接外设并进行通信，对数据进行处理，从而实现简单的**闭环系统控制**，提高其运行的稳定性。

2.4.6 VR 三维建模处理

VR 能实现勘测人员的沉浸式作业。三维环境建模能够实现环境的立体重建，而对于常见单目摄像头来说，其采集的图像信息较少，难以获得深度信息。因此，具有深度信息画面的拍摄、回传图像；上位机显示窗口的设计和目标识别跟踪的编程也是本项目需要解决的技术关键。

鉴于此，本项目利用**曲面建模的方法**对物体各个表面或曲面进行描述，表面模型增加了面和边的拓扑关系，从而反映三维环境情况。其也可根据需要，采取更精确的实物建模方法对环境进行三维反映。

2.4.7 人机交互界面

本项目可收集大量的图像数据、传感器数据、PmodGPS 定位数据以及电池电量状态数据等，并回传至上位机，多窗口的显示各个元件具体数据内容也是本项目的技术难点之一。

对于传统的人机界面控制软件，当被控对象发生变动时，其必须修改控制系统的源程序，导致了开发周期长的问题。对于已开发成功的人机界面控制软件，

其由于每个控制项目的不同而造成重复使用率很低的问题,导致了修改源代码费用昂贵的现象。并且,操作人员也很难进行人机界面控制软件的源程序的修改工作。

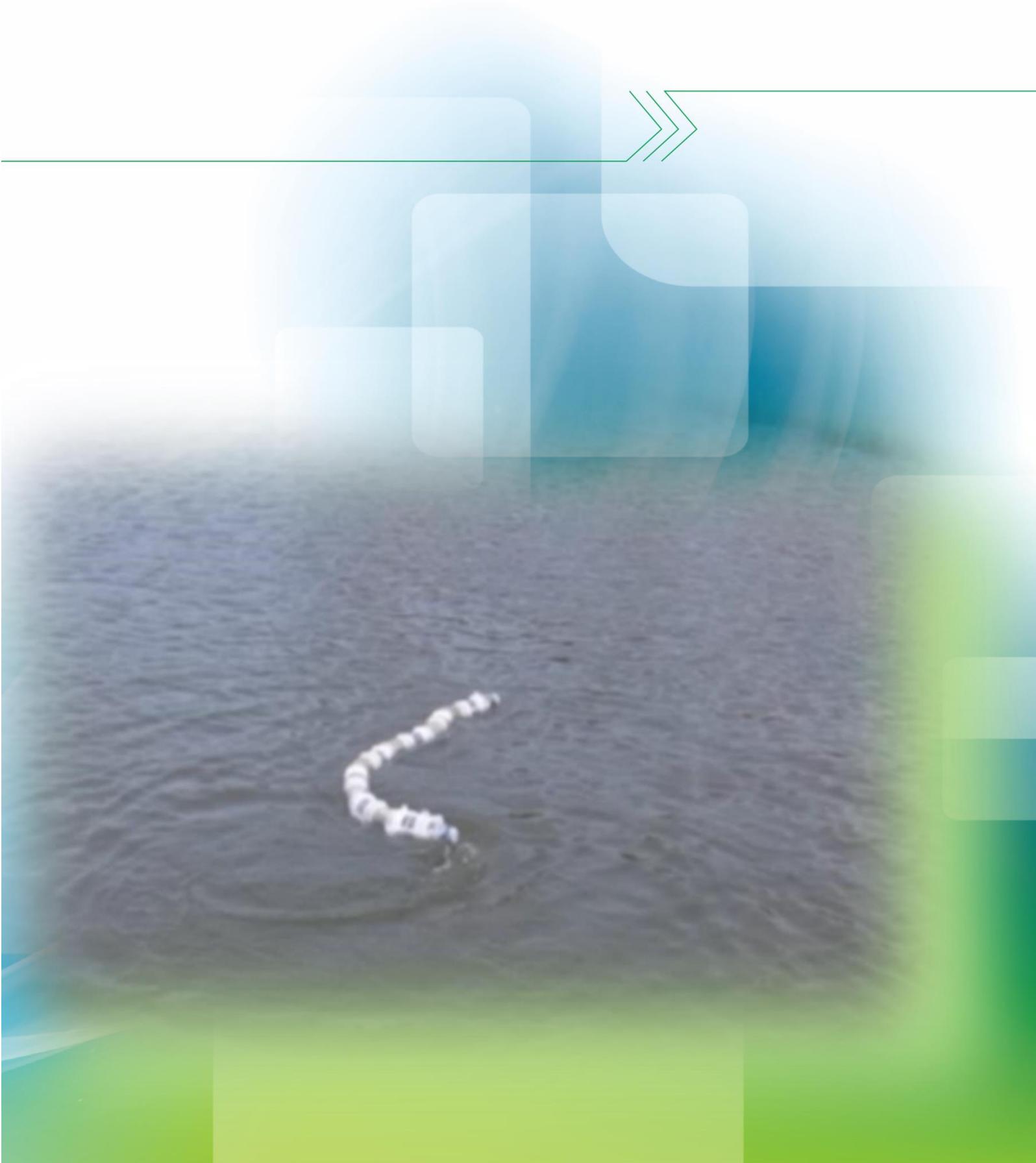
鉴于此,本项目采用**图形化的人机交互编程软件 LabVIEW**,实现**虚拟仪器的编程开发**,方便的其显示勘测对象的加速度、速度和位置等数据。

2.4.8 云端互联技术

云是分布式计算(Distributed Computing)、并行计算(Parallel Computing)、效用计算(Utility Computing)、网络存储(Network Storage Technologies)、虚拟化(Virtualization)、负载均衡(Load Balance)和热备份冗余(High Available)等传统的计算机和网络技术发展融合的产物。云端资源的共享和数据上传均需要搭建编译环境,从而实现设备与云端服务器的连接和数据传输功能。

本项目**利用 Azure 云进行连接**,实现其与水陆两栖勘测云机器蛇的通信,本项目通过 PC 上位机和云端互联,从而实现数据交换处理功能。

第三章 项目技术实现与分析



3.1 电气部分

该两栖蛇形机器人的电气系统主要部件有：嵌入式平台 NI myRIO 主控制板，微处理器 STM32 从机控制板，电源模块，IDT WP3W-RK 无线充电模块，双目摄像头，六轴姿态传感器 MPU6050、磁强计等传感器，正交舵机组等。这些部件紧固于 3D 打印蛇体。整个蛇体通过打印样品件和尺寸计算保证所设计的机械结构连接正常。

3.1.1 嵌入式主控制板

两栖机器蛇管径最大处只有不足 10cm，而项目采用基于 Xilinx FPGA 和双核 ARM® Cortex™-A9 微处理器的具有 10 条模拟输入线、6 条模拟输出线以及 40 条数字 I/O 线的 NI myRIO 为主控制板（如图 3.1），借助其强大的运算能力和反应速度对传感器回传数据和图像进行处理与转发，用 LabVIEW 编程搭建上位机人机交互界面，并通过无线网卡联网，将传感器传回数据上传云端进行后续处理。



图 3.1 嵌入式平台 NI myRIO 主控制板

3.1.2 从机控制板

蛇体的运动是上位机、主控制板和从主控板共同控制的，刚性关节电池盒底

部挂载从控制板 STM32（如图 3.2），不仅可以通过异步串口通信接收主控制板 NI myRIO 的命令产生响应，产生规律脉宽调制波，联合多从机协同合作，共同控制关节内 16 路舵机按行波规律调整初始角度、摆幅、相位差，实现从 LabVIEW 上位机端对蛇体进行状态机的姿态和行进方式的切换，还可以对传感器采回数据进行融合处理，减小传感器因零点漂移而带来的累计积分误差。



图 3.2 STM32 从控制板

3.1.3 蛇载传感器

传感器是机器蛇感知外部环境的“器官”，其采集回传的参数是操作人员调整蛇体运动状态的重要依据。六轴传感器 MPU6050 免除了组合陀螺仪与加速器时间轴之差的问题，减小了封装空间，适合应用于可用空间较小的机器蛇。本项目主要使用包含加速度、陀螺仪、磁力计等的六轴传感器 MPU6050、三轴磁强计 MAG3110 等传感器（如图 3.3、图 3.4）。蛇体关节搭载这些传感器，可将蛇体行进过程中加速度、俯仰角等信息通过 I2C 协议及时回传嵌入式平台 NI myRIO，经过 Kalman 滤波融合处理后将分析处理过的传感器数据通过无线方式传输至上位机并显示，便于操作人员获知蛇体运动姿态的详细状况以及机器蛇自适应调整姿态，实现一定程度上的闭环控制，增强机器蛇的稳定性。



图 3.3 MPU6050 传感器



图 3.4 MAG3110 磁强计传感器

在蛇体姿态求解过程中，对于 MPU6050 回传嵌入式平台 NI myRIO 参数的积分计算，因三轴姿态数据直接积分时，容易由于三轴耦合而产生较大误差，影响精度，故本项目采用 Kalman 滤波，用四元数的方法进行姿态解算，通过零点漂移处理减小对角速度积分运算的累积误差，提高姿态精度。

本文通过嵌入式平台 NI myRIO 显示传感器采集回传的数据并将数据上传到云端，再由云端设置访问权限，由主机进行访问并对数据进行进一步的处理，如存储、上传云端虚拟机或数据库、并对数据进行统计分析，得出机器蛇操作的最佳环境。

3.1.4 电源模块

本项目采用分布式动力电池，分散电池的重量的同时也能提高空间利用率。

通过三维建模制成的电池盒（如图 3.5）配套层叠的 3.7V 动力锂电池。电池盒下端的通孔挂载电路板，经稳压模块处理后可提供 5V 电压供舵机运转。

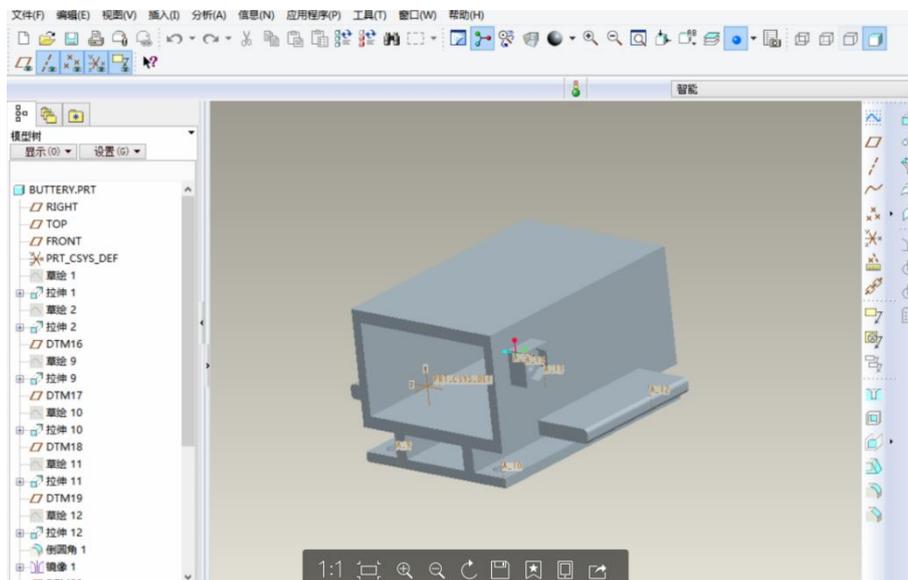


图 3.5 电池盒建模

3.1.5 IDT WP3W-RK 无线充电模块模块

本团队利用 IDT WP3W-RK 无线充电模块技术（如图 3.6）对蛇体电池进行充电。两栖蛇单元模块中安装 IDT WP3W-RK 无线充电模块接收装置，结合 RC 振荡、滤波电路、稳压模块，对电磁感应电动势进行滤波稳压等实现动力电池“隔空充电”。

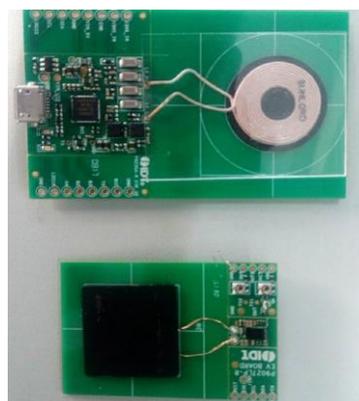


图 3.6 IDT WP3W-RK 无线充电模块模块

3.1.6 双目摄像头

蛇体通过带主动光源的双目摄像头（如图 3.7）可实现 VR 三维建模、沉浸式勘测和检修。普通单目摄像头采集的图像缺乏深度信息，难以进行环境建模。蛇体搭载的双目摄像头将拍摄的画面回传至上位机人机交互界面。上位机通过图像建模算法，应用模型分割、实例化、纹理映射技术进行模型处理后，即可得到蛇体所处环境的三维建模图。

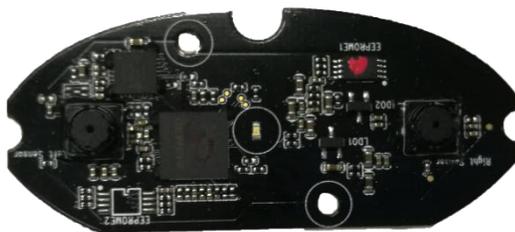


图 3.7 双目摄像头

3.2 机械部分

本项目选择以模仿行波为基本步态的蜿蜒行进方式前行，这种方式不仅避免了和地面产生直接摩擦，而且由于轮子抬高了蛇体，使得蛇在行进过程中能够避开小起伏地面，从而扩大其适用范围。行波（travelling wave）是平面波在传输线上的一种传输状态，其幅度沿传播方向按指数规律变化，相位沿传输线按线性规律变化。从相邻时刻和 $t+t$ 之间进行考察，我们可以发现其波形随时间的增长而向传输线的终端移动。

水陆两栖勘测云机器蛇在蜿蜒行进时，蛇体呈现为近似的正弦曲线。蛇体的

运动姿态由各自独立而又受控于嵌入式系统 NI myRIO 的微控制器 STM32 控制，各个微控制器 STM32 相互协同合作，共同控制关节单元的正交舵机组。

受控的正交舵机组中，平行水平面放置的舵机按行波规律摆动，各舵机摆动的起始角度呈现固定相位差，摆动过程中舵机摆角随时间按行波规律不断改变，蛇体呈现出 S 形的摆动曲线。

在陆地上，借助固定在蛇体表面的轮子，蛇体纵向和横向与地面产生摩擦力推动其蜿蜒爬行。在水中，通过蛇体接收的上位机指令，本项目由主控制板进行命令解析，控制舵机正交驱动模块进行规律扭动。蛇体在摆动过程中与水流相互作用可产生前进动力，完成蛇体各种运动姿态的切换。

蛇体驱动模块主要由正交舵，组构成。水陆两栖勘测云机器蛇运动的驱动力是由单元模块中正交舵机组提供。其中每个正交舵机组由两个舵机、两个舵机支架和两个短 U 型支架构成。本项目利用现有的 U 型舵机支架，可免去定做两舵机连接片的步骤，不仅节约了成本，也提高了舵机摆动过程中的稳定性。每个舵机的前端通过内六角螺丝固定在舵机支架上，舵盘和舵机通过螺丝紧密连接，防止舵机在运动过程中松动，同时舵盘和支架共同与一个短 U 型支架连接，两个短 U 型支架之间正交连接，短 U 型支架可以绕底部的轴转动，这样即可实现作品在空间的三维运动。

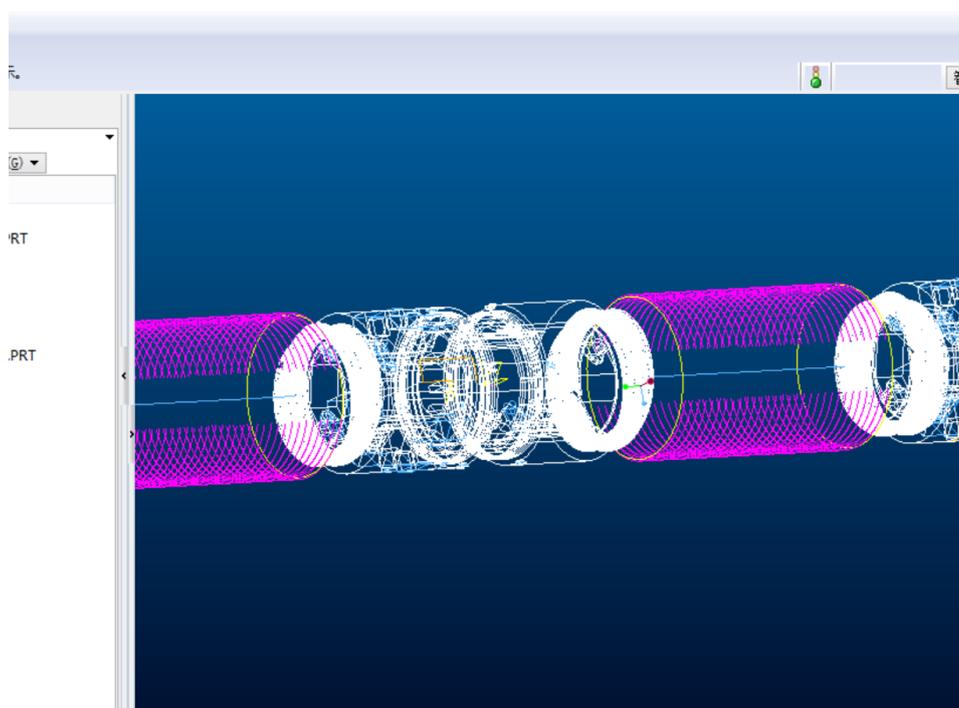


图 3.8 蛇体机械三维结构

3.2.1 正交舵机组

机器蛇运动的驱动力是由单元模块中正交舵机组（如图 3.9）提供的，其中每个正交舵机组由两个舵机、两个舵机支架和两个短 U 型支架构成，利用现有 U 型舵机支架，可以免去定做两个舵机连接片的麻烦，不仅节约了成本，也提高了舵机摆动过程中的稳定性。每个舵机的前端通过内六角螺丝固定在舵机支架上，舵盘和舵机通过螺丝紧密连接，防止舵机在运动过程中松动，同时舵盘和支架共同与一个短 U 型支架连接，两个短 U 型支架之间正交连接，短 U 型支架可以绕底部的轴转动，这样实现了机器蛇在空间的三维运动。



图 3.9 正交舵机组

3.2.2 柔性关节

蛇体由柔性关节和刚性关节两部分连接而成。柔性关节采用 PU 钢圈软管制成。70mm 左右的直径配合螺旋的管身设计可以和刚性关节外端螺旋结构相拧合，在外涂硅橡胶，不仅解决了柔性关节和刚性关节之间连接有缝隙漏水的问题，

也解决了软管和 3d 打印关节牢固结合的问题。如图 3.10 所示的柔性关节，由钢丝软管、正交舵机组和两个关节平口部分构成，两个关节平口部分分别通过螺纹的旋拧固定在钢丝 PU 软管的两端，并用卡夫特硅橡胶进行防水和固定粘合。平口部分恰好可以插入刚性关节的凹槽内，两者之间再通过硅橡胶进行黏合拼接，如此交替连接搭建起蛇的身体。

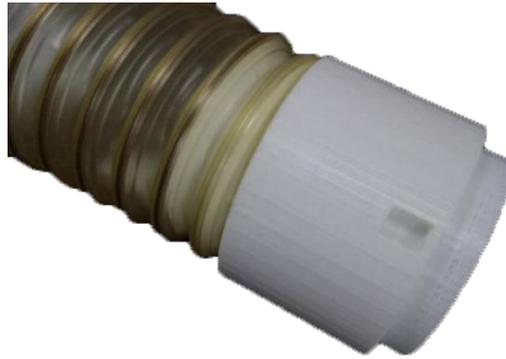


图 3.10 柔性关节

3.2.3 刚性关节

刚性关节由如图 3.11 所示的有轮关节和如图 3.12 所示的无轮关节构成。有轮关节通过外置的轮槽设计和内部加厚侧壁设计保证防水，外置轮槽设计不仅能够避免内置轮槽所带来的漏水风险，也有利于安装拆卸，操作更方便。内部加厚侧壁设计不仅防水，而且能够提高蛇体抗压能力，保证内部电器元件不受外界压力损伤。无轮关节通过双层加厚内壁保证防水。关节间的连接采取螺纹双凹槽结构设计保证防水。无轮关节有两个公头，外公头具有螺纹。有轮关节有两个母头凹槽，外凹槽具有螺纹，能够与无轮关节公头的的螺纹拧合，形成带螺纹的双凹槽防水结构。另外，本团队在两个凹槽内加入自制的硅胶防水柔性垫圈，在拧紧螺纹后，无轮关节双凹槽结构中的公头压紧有轮关节母头中自制的硅胶防水柔性垫圈，实现防水的双层保证，提高了防水性能。有轮关节和无轮关节的外端，又根据 PU 软管设计的独特螺旋结构，能够和 PU 软管紧密拧合，配合硅橡胶的使用即可实现密封防水，同时起到固定连接柔性关节和刚性关节的作用。



图 3.11 有轮关节的母头



图 3.12 无轮关节的公头

3.2.4 关节接口螺旋设计

如图 3.13 所示，蛇头与蛇尾之间通过多个刚性关节和多个柔性关节交替连接，在刚性关节和柔性关节连接处，打印的螺纹结构先与软管相拧紧固后用硅橡胶密封连接，巧妙构建出平口部分，并将平口部分插入刚性关节的凹槽内，卡紧后注入硅橡胶，待凝固后即可实现刚性关节和柔性关节的紧密连接，这一个个的单元部分便构成了搭建整个蛇体系统的单元（如图 3.14），该接口设计不仅防水而且也能增强连接处的抗压能力，有利于维持蛇体的稳定性。



图 3.13 关节接口螺旋设计



图 3.14 “软硬软”结构单元

3.3 卡尔曼滤波算法

本项目的硬件部分涉及的主要算法为卡尔曼滤波算法，本团队在此小节中将进行详细介绍。

在蛇体姿态求解过程中，对于 MPU6050 回传嵌入式系统 NI myRIO 主控板参数的积分计算，因三轴姿态数据直接积分易因为三轴耦合而产生较大误差，影响精度，故项目采用 Kalman 滤波，用四元数的方法进行姿态解算，通过零点漂移处理减小对角速度积分运算的累积误差，提高姿态精度。

卡尔曼滤波是一种利用线性系统状态方程，通过系统输入输出观测数据，对系统状态进行最优估计也即滤波过程的算法。卡尔曼滤波不要求信号和噪声都是平稳过程的假设条件。对于每个时刻的系统扰动和观测噪声，我们只要对它们的统计性质作某些适当的假定，通过对含有噪声的观测信号进行处理，就能在平均的意义上，求得误差最小的真实信号的估计值。本项目也将该滤波算法应用于图像处理方面，应用卡尔曼滤波对由于某些噪声影响而造成模糊的图像进行复原。在对噪声作了某些统计性质的假定后，就可以用卡尔曼的算法以递推的方式从模糊图像中得到均方差最小的真实图像，使模糊的图像得到复原。每一个有外部变量的自回归移动平均系统(ARMAX)或可用有理传递函数表示的系统，都可以转换成用状态空间表示的系统，从而能用卡尔曼滤波进行计算。任何一组观测数据都无助于消除 $x(t)$ 的确定性。增益 $K(t)$ 也同样地与观测数据无关。当观测数据和状态联合服从高斯分布时用卡尔曼递归公式，计算得到的是高斯随机变量的条件均值和条件方差，从而卡尔曼滤波公式给出了计算状态的条件概率密度的更新过程线性最小方差估计，也就是最小方差估计。

考虑一离散时间的动态系统，它由描述状态向量的过程方程和描述观测向量的观测方程共同表示。

系统过程方程为

$$x(n+1) = F(n+1, n)x(n) + v_1(n)$$

系统观测方程为

$$y(n) = C(n)x(n) + v_2(n)$$

用新息过程序列 $a(1), \dots, a(n)$ 的线性组合直接构造状态向量的一步预测:

$$\hat{x}_1(n) = \hat{x}(n+1|y(1), \dots, y(n)) = \sum_{k=1}^n W_1(k)\alpha(k)$$

式中 $W(k)$ 表示与一步预测项对应的权矩阵, 且 k 为离散时间。为确定权矩阵, 根据正交性原理, 最优预测的估计误差

$$e(n+1, n) = x(n+1) - \hat{x}_1(n+1)$$

应该与已知值正交, 故有

$$\begin{aligned} E\{e(n+1, n)\alpha^H(k)\} &= E\{[x(n+1) - \hat{x}_1(n+1)]\alpha^H(k)\} \\ &= 0, k = 1, \dots, n \end{aligned}$$

利用新息过程 C 的正交性

$$\begin{aligned} E\{x(n+1)\alpha^H(k)\} &= W_1(k)E\{\alpha(k)\alpha^H(k)\} \\ &= W_1(k)R(k) \end{aligned}$$

由此可以求出权矩阵的表达式:

$$W_1(k) = E\{x(n+1)\alpha^H(k)\}R^{-1}(K)$$

状态向量的一步预测的最小均方估计可表示为

$$\begin{aligned} \hat{x}_1(n+1) &= \sum_{k=1}^n E\{x(n+1)\alpha^H(k)\}R^{-1}(k)\alpha(k) \\ &= \sum_{k=1}^{n-1} E\{x(n+1)\alpha^H(k)\}R^{-1}(k)\alpha(k) \\ &\quad + E\{x(n+1)\alpha^H(n)\}R^{-1}(n)\alpha(n) \end{aligned}$$

由 $E\{v_1(n)\alpha(k)\} = 0, k = 0, 1, \dots, n$, 并利用状态方程, 得到下式。

对 $k=0, 1, \dots, n$ 有

$$\begin{aligned} E\{x(n+1)\alpha(k)\} &= E\{[F(n+1, n)x(n) + v_1(n)]\alpha^H(k)\} \\ &= F(n+1, n)E\{x(n)\alpha^H(k)\} \end{aligned}$$

可化简为

$$\begin{aligned}
& \sum_{k=1}^{n-1} E\{x(n+1)\alpha^H(k)\}R^{-1}(k)\alpha(k) \\
&= F(n+1, n) \sum_{k=1}^{n-1} E\{x(n)\alpha^H(k)\}R^{-1}(k)\alpha(k) \\
&= F(n+1, n) \hat{x}(n)
\end{aligned}$$

若定义

$$G(n) \stackrel{def}{=} E\{x(n+1)\alpha^H(k)\}R^{-1}(k)$$

则得到状态向量一步预测的更新公式：

$$\hat{x}(n+1) = F(n+1, n) \hat{x}(n) + G(n)\alpha(n)$$

在 kalman 滤波算法中起着关键的作用，该式表明，n+1 时刻的状态向量的一步预测分为非自适应（即确定）部分和自适应（即校正）部分 $G(n)\alpha(n)$ 。从这个意义上讲， $G(n)$ 称为 kalman 增益（矩阵）是合适的。

为了完成 kalman 自适应滤波算法，需要进一步推导 kalman 增益的实际计算公式。由定义式知，只需要推导期望项 $E\{x(n+1)\alpha^H(k)\}$ 的具体计算公式即可。新息过程得出：

$$\begin{aligned}
& E\{x(n+1)\alpha^H(n)\} = F(n+1, n)E\{x(n)\alpha^H(n)\} \\
&= F(n+1, n)E\{x(n)[C(n)e(n, n-1) + v_2(n)]^H\} \\
&= F(n+1, n)E\{x(n)e^H(n, n-1)\}C^H(n)
\end{aligned}$$

这里使用了状态向量与观测噪声不相关的事实。进一步地，由正交原理引理知，在最小均方误差准则下求得的一步预测估 $\hat{x}_1(n)$ 与预测误差 $e(n, n-1)$ 彼此正交，即

$$E\{\hat{x}_1(n)e^H(N, N-1)\} = 0$$

$$G(n) = F(n+1, n)K(n, n-1)C^H(n)R^{-1}(n)$$

得到 kalman 增益的计算公式如下：

$$\begin{aligned} E\{x(n+1)\alpha^H(n)\} &= F(n+1, n)E\{[\hat{x}(n) + e(n, n-1)]e^H(n, n-1)\}C^H(n) \\ &= F(n+1, n)E\{e(n, n-1)e^H(n, n-1)\}C^H(n) \\ &= F(n+1, n)K(n, n-1)C^H(n) \end{aligned}$$

式中 $R(n)$ 是信息过程的相关矩阵, 通过以上步骤即可得到 kalman 增益和状态向量 $x(n)$ 的线性最小差估计, 实现九轴数据的融合分析, 获得较为准确的加速度数值, 校正运动姿态信息的偏差。

3.3.1 坐标系

本项目中, 设地理坐标系坐标为 n 系, 载体坐标系为 b 系, 也就是两栖蛇的坐标系。对于四元数法的姿态解算, 所求既是四元数的值; 用于表示 n 系和 b 系的相对关系的方向余弦矩阵中的元素为四元数。下面求解由四元数构成的方向余弦矩阵 nCb 。

在 n 系中, 加速度计输出为 $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$, 经过 bC_n 转换之后到 b 中的值为 $\begin{bmatrix} vx \\ vy \\ vz \end{bmatrix}$; 在 b 系中, 加

速度计的测量值为 $\begin{bmatrix} ax \\ ay \\ az \end{bmatrix}$, 现在 $\begin{bmatrix} vx \\ vy \\ vz \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} ax \\ ay \\ az \end{bmatrix}$ 均表示在 b 系中的竖直向下的向量, 由此来做

向量积, 得到误差 $\begin{bmatrix} ex \\ ey \\ ez \end{bmatrix}$, 利用这个误差来修正 bC_n 矩阵。

向量（ b 系中）经过这个矩阵旋转之后到 n 系，这两个坐标系在 XOY 平面上重合，只是在 Z 轴旋转上会存在一个偏航角的误差。下图表示的是经过 nCb 旋转之后的 b 系和 n 系的相对关系。可以明显发现加速度计可以把 b 系通过四元数法从

任意角度拉到与 n 系水平的位置上，这时，只剩下一个偏航角误差。这也是为什么加速度计误差修正偏航的原因。

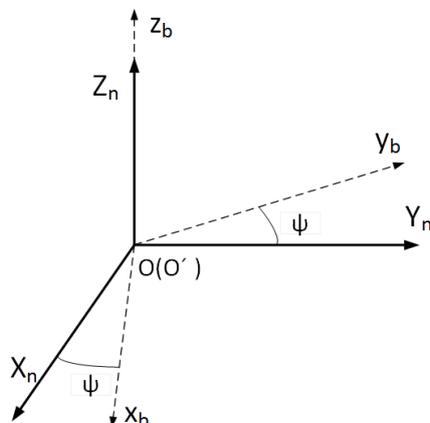


图 3.15 坐标轴

到这里，就好说了。现在我们反过来从 b 系推往 n 系：设地磁计在 b 系中的输出为，经过 nCb^* 旋转之后得到 (n 系)。在这个 XOY 平面上 (n 系)，的投影为 bx^2 ，的投影为 hx^2+hy^2 。显然，地磁计在 XOY 平面上 (n 系) 的向量的大小必定相同，所以有 $bx^2= hx^2+hy^2$ 。而对于 bz 的处理，我们不做变动，令 $bz=hz$ 即可。经过这样处理之后的，经过 bCn^* 旋转回转到 b 系中，得到，这个值再和 b 系中的地磁计输出做向量积求误差，再次修正 bCn^* (或者 nCb^*)，得到 bCn^{**} (或者 nCb^{**})。这样就完成了一次地磁计的补偿。

本文通过嵌入式系统 NI myRIO 主控板显示传感器采集回传的数据并将数据上传到云端，再由云端设置访问权限，由主机进行访问并对数据进行进一步的处理，如存储、上传云端虚拟机或数据库、并对数据进行统计分析，得出机器蛇操作的最佳环境。

3.4 上位机设计

针对机器蛇采集数据繁杂的特点，人机界面应画面简洁清晰，能满足控制系

统的实际需求。上位机可以将接收到通过无线局域网或串口下载方式把树莓派接收到的传感器感知的环境、蛇体运动状态信息显示在人机交互窗口中，同时上位机也可发送指令到 NI myRIO 来切换机器蛇的运动模式，包括前行、后退、上浮、下潜等。通过双目摄像头采集的图像经处理后在上位机分屏显示，便于提高用户对环境的体验感。

```
Temp: 23
gyr :GX= -2 GY= -1 GZ= 0
acc :AX= 0.123535 AY= 3.880005 AZ= 2.903931
Temp: 23
gyr :GX= -1 GY= 0 GZ= 0
acc :AX= 0.124512 AY= 3.881592 AZ= 2.904419
Temp: 23
gyr :GX= -2 GY= -1 GZ= 0
acc :AX= 0.123413 AY= 3.881104 AZ= 2.904297
Temp: 23
gyr :GX= -2 GY= -1 GZ= 0
acc :AX= 0.124146 AY= 3.880737 AZ= 2.904175
Temp: 23
```

图 3.15 上位机显示传感器回传参数

3.5 基于 NI myRIO 的 LabVIEW 交互界面设计

3.5.1 背景

在开发传统的人机界面控制软件时，当被控对象一旦有变动就必须修改其控制系统的源程序，导致其开发周期长。已开发成功的人机界面控制软件又由于每个控制项目的不同而使其重复使用率很低，导致它的价格非常昂贵，修改人机界面的控制软件的源程序也相当困难。通用工业自动化组态软件的出现为解决上述实际工程问题提供了一种崭新的方法，因为它能够很好地解决传统工业控制软件存在的种种问题，使用户能根据自己的控制对象和控制目的任意组态。

3.5.2 NI myRIO 简要介绍

NI myRIO 是一款针对学生创新应用的平台，支持用 LabVIEW 或 C/C++ 对 ARM 进行编程，LabVIEW 中包含大量现成算法函数，同时针对 NI myRIO 上的各种 I/O 接口提供经过优化设计的现成驱动函数，方便快速调用，甚至比使用数据采集（DAQ）设备还要方便；如果学生需要对 FPGA 进行自定义编程，可采用 LabVIEW 图形化编程方式进行开发。

3.5.3 LabVIEW 优势

LabVIEW 作为组态为模块化的图形界面设计软件，相比较传统交互软件有着更灵活的设计解决方案：

1.封装完善

LabVIEW 前面板封装了大量形象逼真的控件，使用这些资源，无需任何额外加工和修饰就能实现便于操作的用户界面。

2.模块化，可扩充性强

针对一些特殊应用，基本控件可能无法满足设计人员的要求，用户还可以建自定义控件。前面板的窗口形式也可以以不同的方式显示以满足不同的需求。

3.可读性强，操作灵活

在用户交互方面，用户可以通过按钮、播放声音、对话框、菜单和键盘输入等多种方式与程序进行交互。

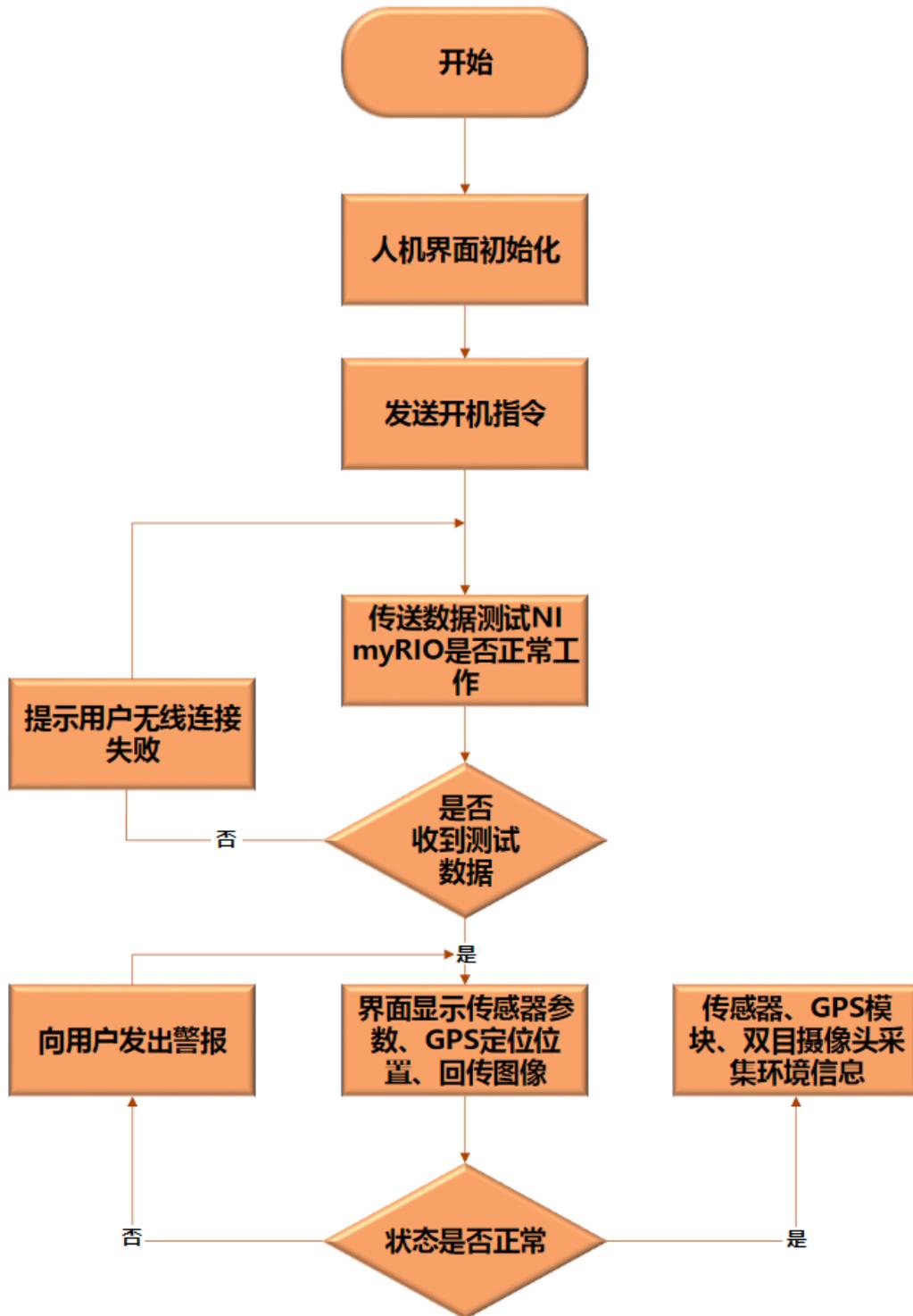


图 3.16 LabVIEW 工作流程图

3.5.4 LabVIEW 用户界面

针对蛇形机器人，所要实现的图形界面应该具备数据呈现的逻辑性和完善

性，并能实现控制系统的基本功能，让操作人员能准确读取。所包括的界面具体如下：

1.加速度传感器回传界面

加速度计（如图 3.17）是利用检测质量块的惯性力来测量载体加速度的敏感装置。其将检测质量块的运动以加速度的形式报告。加速度计为调平传感器、倾斜传感器和跌落传感器的场合测量静态加速度，并为撞击和振动数据采集过程测量动态加速度。

NI myRIO 机电一体化附件包附带加速度计（基于 Analog Devices ADXL345 三轴数字加速度计，具有 I2C 总线串行通信功能）。ADXL345 提供很高的灵活程度，并且包含片上事件检测功能（包括单击和双击、活动和自由落体）。

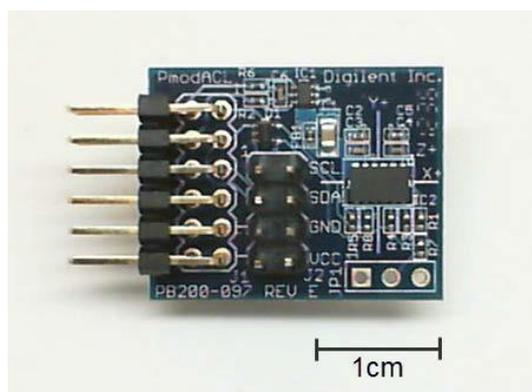


图 3.17 加速度传感器

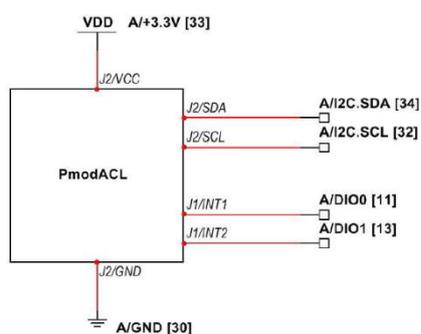


图 3.18 加速度传感器电路图

此模块中加入了网络共享变量，能实时的把数据传到移动设备上，进行实时观测。通过调用 LabVIEW 中 myRIO 的一些子 VI 实现了，对一些传感器的参数进行收集及处理。图 3.19 为本团队加速度传感器程序设计图。

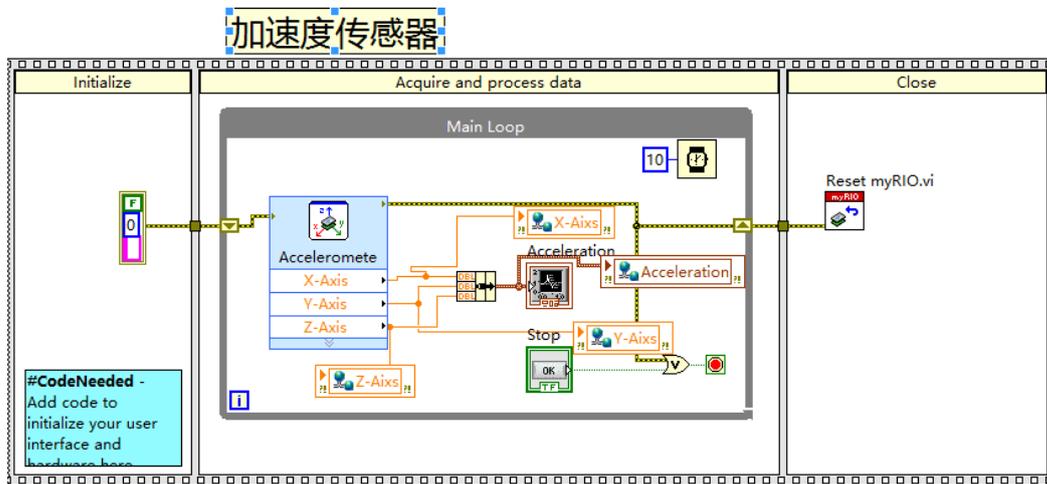


图3.19 加速度传感器程序设计图

将 NI myRIO 板与加速度传感器连接后，通过 labview 实现传感器功能的调用，并在人机交互界面（如图 3.20）上显示传回的数据，并以图像的形式进行呈现，便于开发人员的数据采集和分析。

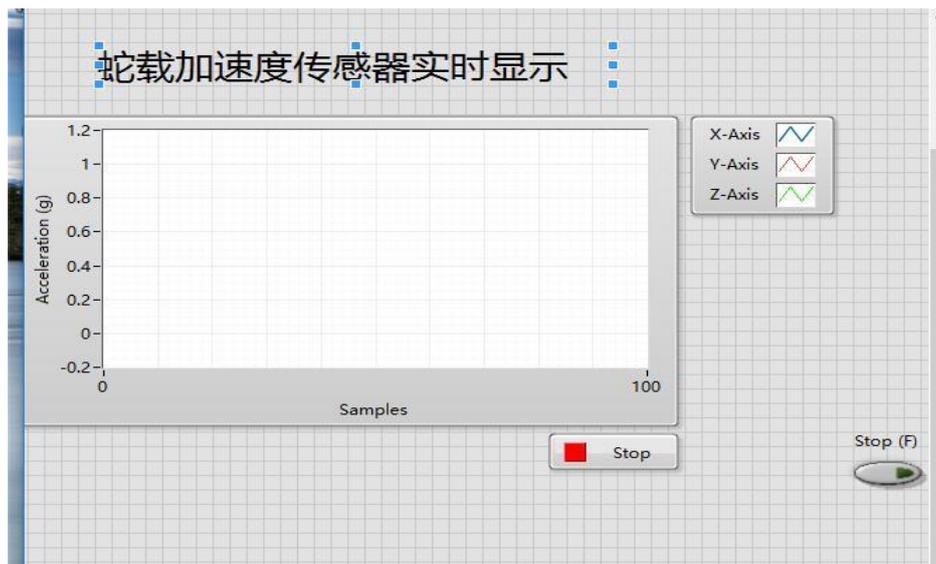


图3.20 加速度传感器人机交互界面

2.PmodGPS模块定位回传界面

所有现代导航技术均依靠全球定位系统(GPS) 卫星网络在全球各地提供 GPS 接收器的高精度 3D 坐标（纬度、经度和高度）。虽然全球定位系统整体上是一个精密、复杂的系统，但基于 GlobalTech Gms-u1LPGPS 模块的 PmodGPS（图3.21）提供了出奇简单的方法来访问大量信息，这些信息除了坐标外还包括精确的时间、日期、方位、速度和其他与可看见的特定卫星相关的有用信息。

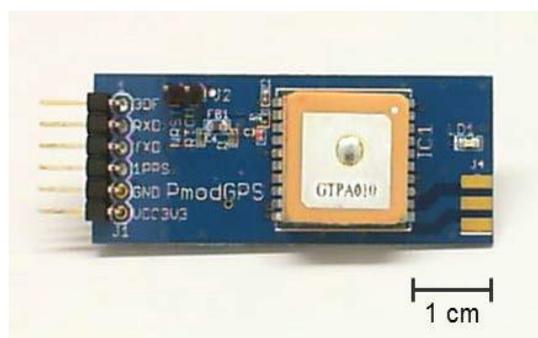


图 3.21 GPS 传感器

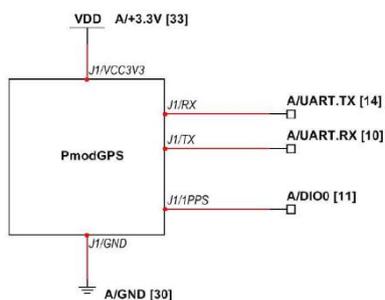


图 3.22 GPS 电路图

GPS 模块能实时传送蛇的位置，从而对蛇检测的环境进行定位跟踪。GPS 模块通过 labVIEW 进行通信和数据处理，并最终反馈在人机界面上（图 3.24）。

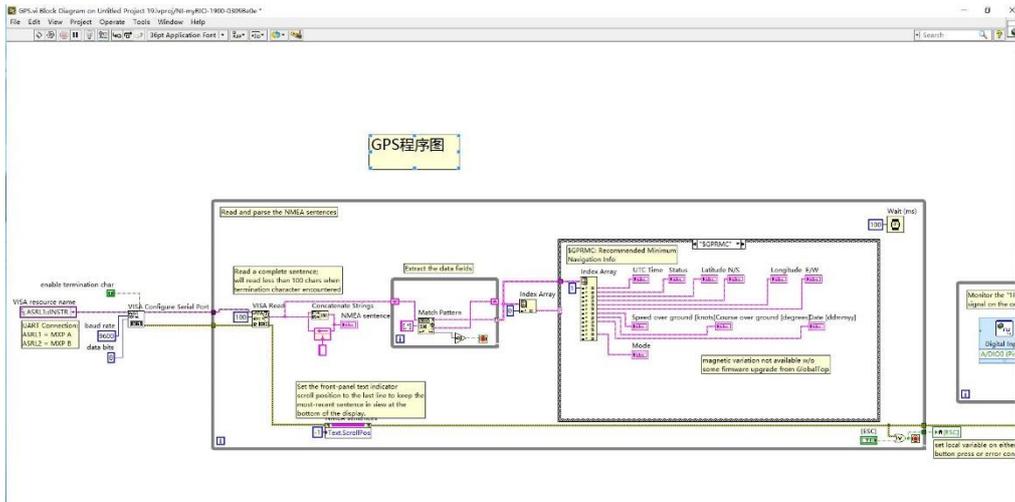


图 3.23 GPS 程序设计图

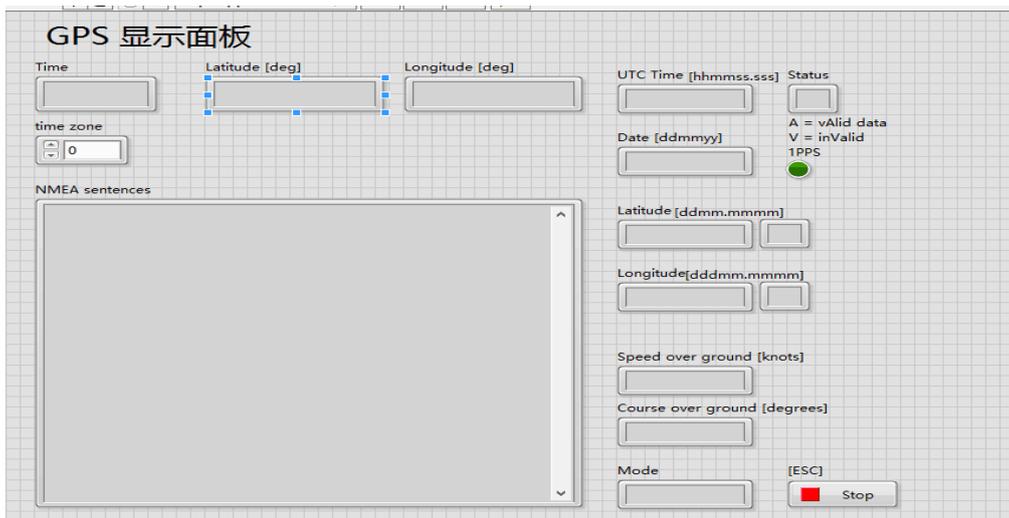


图 3.24 GPS 人机交互界面

3.双目摄像头回传界面

将网络摄像头与 USB 闪存驱动器组合使用，可以创造出监控摄像头，以便监视房间并在探测到动作时保存带有时间标记的图像。本团队使用一对 IMAQdx Grab 实例来收集相邻的网络摄像头帧、使用 IMAQ Absolute Difference 来确定两帧之间的差异图像、使用 IMAQ Cast Image 将图像转换为灰度图像，并使用 IMAQ Quantify 2 来确定差异图像的平均值；高于适当阈值的差异表示

两帧之间存在重大差异，也即动作。或者，也可以将当前的网络摄像头图像与参考图像（通过按下板载按钮获得，或在 VI 启动时获得）进行比较。通过采用此方法，即使是静止不动的入侵者也能被检测到。使用 IMAQ Write File 2 将图像帧保存到 USB 闪存驱动器。

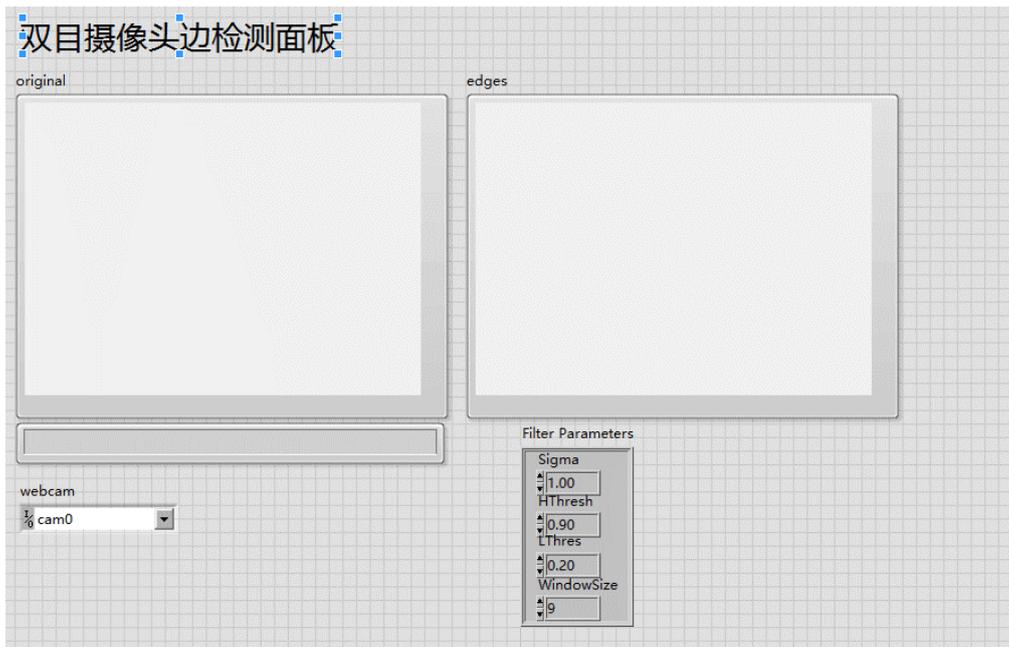


图 3.25 双目摄像头人机交互界面

通过 NI 提供的 Vision Assistant 2015 软件进行多种相关的图像算法处理，然后生成相应的 VI 导入到 labview 工程中，进行其他的相应的算法控制，双目传回的图像能实时通过 USB 存储器进行保存或者对复杂环境的监测。

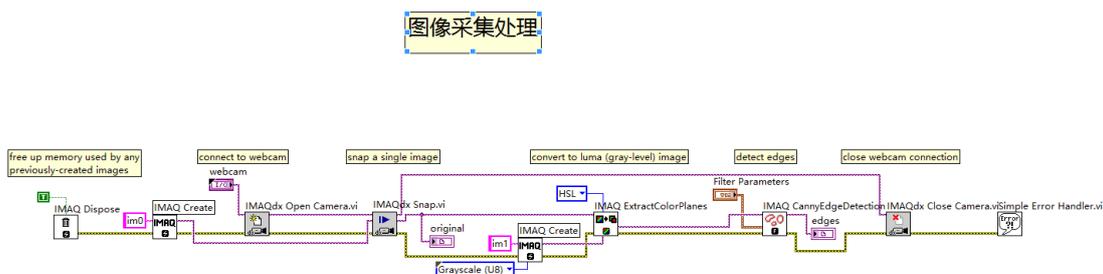


图 3.26 图像采集处理

3.5.5 模拟蛇头及其程序图

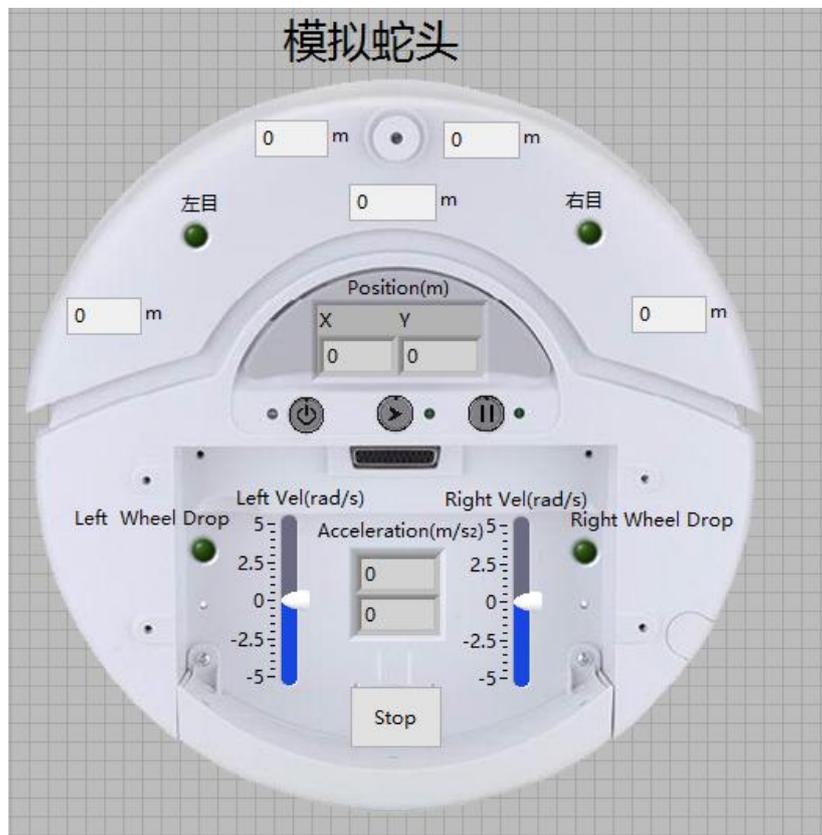


图 3.27 模拟蛇头

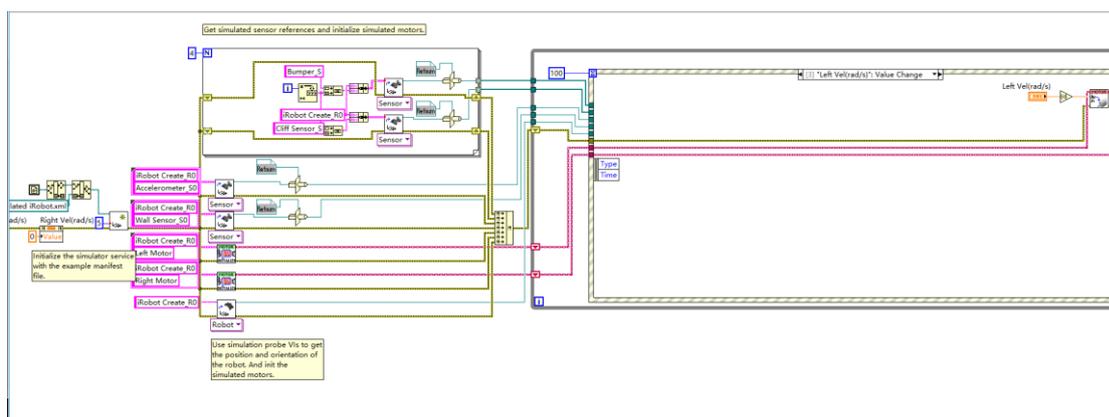


图 3.28 蛇头程序图

3.6 云端互联

3.6.1 云端互联

云技术是指在广域网或局域网内将硬件、软件、网络等系列资源统一起来，实现数据的计算、储存、处理和共享的一种托管技术。其主要包括云计算(cloud computing)，和基于云计算概念上延伸和发展出来的云存储。

大数据(big data)指的是在合理时间内对大量数据可完成撷取、管理、并整理成所需要的信息，其所包含的存储层，分析层以及使用层更有效的对采回数据进行分析 and 处理。

关于云计算这方面，我们的项目是基于微软云平台（azure）进行应用开发的，不仅是因为它作为一种灵活和支持互操作的平台，既可以被用来创建云中运行的应用也可以通过基于云的特性来加强现有应用，而且它开放式的架构给开发者提供了 Web 应用、互联设备的应用、个人电脑、服务器、以及最优在线复杂解决方案的选择，尤其是图形化的门户控制界面更方便我们进行云服务的创建和应用的发布。

1.环境的搭建

在微软注册到一元试用帐号后，并在 SDK 相关应用中下载 VS(Microsoft Visual Studio)和 net framework，并安装配置环境，用于后期应用程序开发与发布。

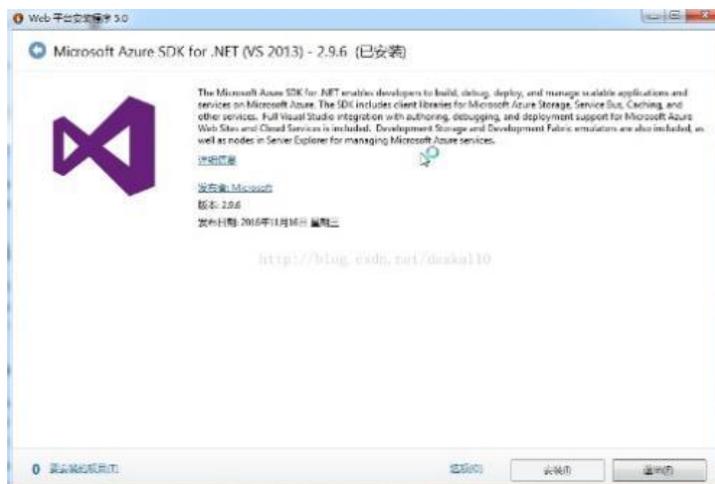


图 3.31 Azure for vs 2013 安装成功

在成功安装 VS 之后，并创建一个工程用作测试。

通过 azure 门户，登录到云服务控制面板，创建好虚拟机(本团队用的是 Ubuntu 14.04, 64-bit system 版本)，设置可用性集和虚拟机配置，并打开 3306 端口用于数据库的远程链接。

构建虚拟机：



图 3.32 构建虚拟机

创建成功：

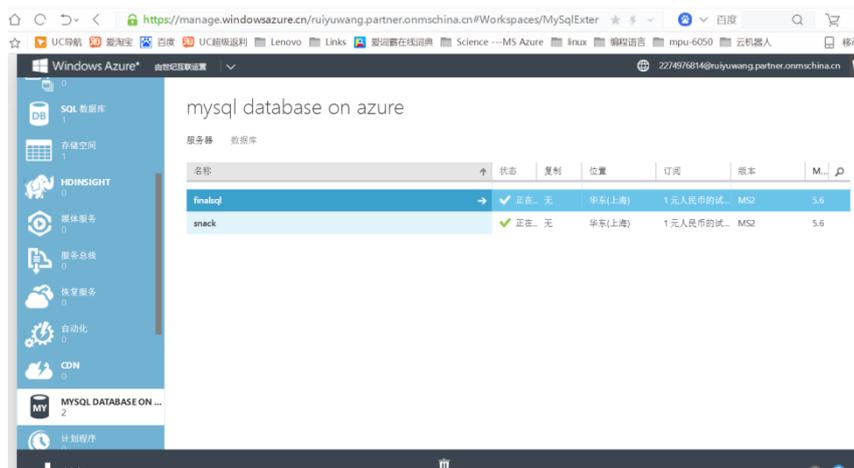


图 3.33 创建成功

2.功能测试

在成功申请到云服务资源后，用 xshell 连接到远程服务端，进行虚拟机的创建，并安装 mysql 和 java 编译环境，用于后续代码开发。

```
Processing triggers for ureadahead (0.100.0-16) ...  
azureuser@SnakeTest:~$ mysql -uroot -p  
Enter password:  
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
```

图 3.34 成功连接到远程服务端数据库

在成功连接到远程服务端数据库后，我们更改数据库的访问权限，用本机直接连接到远程端口（3306）

```
$sudo sed -i 's/^bind-address/#bind-address/' /etc/mysql/my.cnf  
$mysql -uroot -p  
mysql>grant all privileges on *.* to 'root'@'%' identified by '12345';  
mysql>flush privileges;  
mysql>exit
```

为了实现机器蛇在云端实现数据交换并返回有效值，我们进行了初步的测试，用 java 代码生成 sql 脚本，并上传。

3.6.2 云计算优化算法

不同文献中解决进行 VM 整合需要依据一定的目标,进行迁移方案的优化选择,会用到各种不同的优化算法,从类别上划分，可以分为确定性算法 (Deterministic Algorithm)、启发式算法 (Heuristic Algorithm)、元启发式算法 (Meta-heuristic Algorithm)、近似算法以下对部分有代表性的较新的算法运用简要进行描述。

1.启发式算法

针对不同 PM 中的残余资源碎片来进行优化重放置,以提高资源利用率.其先用 FF 算法形成一个初始解;以满足资源需求需要 PM 的理论最小值 tMin 为基础,迭代尝试移植并根据需要渐次扩充目的节点;将 PM 和 VM 按照资源不均衡度分类,以类间契合度判断适合移植的程度。

2.遗传算法(Genetic Algorithm,GA)

遗传算法按进化原理进行最优解搜索.染色体设计、适应度方程、遗传算子设计是研究重点。基于混合遗传算法的 VM 整合算法是在遗传算法基础上增加了进行约束剪枝的部分以及进行低资源占有率主机的 VM 清空工作分.Agostinho 等[14]应用遗传算法于联合云的环境,适应度函数综合考虑负荷和费用.用遗传算法解决任务—虚拟机—数据中心的匹配问题,染色体基因取值涵盖了虚拟机编号与云供应商编号,适应度函数为总费用,以费用为优化目标。

3.蚁群算法(Ant Colony Optimization,ACO)

ACO 算法模拟蚂蚁觅食行为进行搜索,应用关键点在于节点转移规则、信息素更新规则及信息素挥发规则。

Ferdausl 等应用了蚁群系统这一算法变型,以最小化活跃主机数为优化目标,有如下一些问题相关的数值设定。初始化的信息素由作为基准的基于范数均值估计的FFD算法确定,其在选取蚂蚁转移概率的方程中引入了启发式的值。

$$\eta_{v,p} = \omega \times |\log_{10} \text{magRIV}_p(v)| + (1 - \omega) \times \text{Utilization}_p(v) \quad (1)$$

其中 magRIV 是资源不均衡度的一个度量。

Farahnakian 等将转移吸引度 η^s 取值为 $(|C_{pde} - (U_{pde} + U_v)|_i)^{-1}$, 其中 $C_{pde} - (U_{pde} + U_v)$ 代表主机 p_{de} 接纳 VM 后的剩余容量。

4.粒子群算法(Particle swarm optimization,PSO)

粒子群算法通过代表解空间中单个解的每个粒子迭代更新位置和速度来找优化解,是一种并行算法。Xu 等用 PSO 按式(2)、(3)来进行多目标优化,综合考虑 CPU 等资源占用情况兼顾均衡,及最小化迁移次数。

$$\max \varphi_1(R_i, V_j) = \left(\frac{\sum_{j=1}^m V_j^c}{\sum_{i=1}^N R_i^c} + \frac{\sum_{j=1}^m V_j^M}{\sum_{i=1}^N R_i^M} + \frac{\sum_{j=1}^m V_j^B}{\sum_{i=1}^N R_i^B} \right) / 3 \quad (2)$$

$$\min \varphi_2(m_i) = \sum_{j=1}^m m_j \quad (3)$$

可以用PSO算法结合模拟退火算法来改进性能。

5.蜂群算法(Artificial Bee Colony Algorithm,ABC)

Kansal 等应用了蜂群算法解决虚拟机整合问题。

姜建华等应用算法来进行待迁移VM的选择, 根据当前最优解(即VM)确定左右近邻VM, 据此派出跟随蜂进行局部搜索, 并从未处理的虚拟机列表中找到适应度较小的虚拟机反向派出侦察蜂来实现全局探查。

6.其他算法

为了细化问题的解决方案, 大体分两步,Consolidation Planning和Migration Planning.前一步建模为整数线性规划问题,先计算用到PM最少的方案,再从中选取整合后平均性能最好的.后一步转化为了经典的Linear Sum Assignment Problem (LSAP)问题.随后建立成本矩阵,成本为状态转换的迁移次数,由此应用Hungarian算法来解决分配问题,得出最小迁移代价,从而得到最优迁移方案。

3.6.3 虚拟化技术

虚拟化技术作为支撑云计算的一项基础技术, 被广泛应用于云数据中心。未虚拟化前物理主机(PM)多数情况下运行在 10%-50%的负荷状态, 10%-20%的低负荷很普遍。而虚拟化后单台主机上可以运行多台虚拟机(VM), 由此达到较高的资源利用率。另一方面即使在空荷载状态下运行的物理主机其能耗也达到了满负荷情况下能耗的 50%-70%, 能耗与资源利用率近似满足线性关系。所以同样负荷下,高资源利用率与低资源利用率相比利用的物理主机更少, 单位能耗效益更高, 因而成本更低更节能环保。

制造资源和能力的虚拟化需要解决的难点包括虚拟制造资源和能力的创建、

按需定制、部署、管理等方面。目前,借鉴云计算中已有的对计算基础设施、平台和软件等的虚拟化技术成果,针对制造资源和能力的特点开展制造资源和能力的虚拟化技术,是现实可行的技术途径。

在虚拟制造资源和能力的创建方面,涉及各类“虚拟器件”模板或镜像的创建、发布、存储技术以及将物理环境迁移到虚拟环境的技术等。其中,仔细分析各类制造应用,进而建立合理的制造资源和能力有关的虚拟器件,并使其规范和标准化,是十分重要的工作内容。这项工作需要建立规范化的虚拟资源和能力描述模型,能够灵活管理“物理—虚拟器件”之间的映射关系。对于信息技术(information technology, IT)类资源和能力,可借鉴云计算中的虚拟机相关技术;对于非IT类的虚拟器件,可通过规范和标准化的描述模板予以发布。在虚拟制造资源和能力的按需定制和部署方面,涉及虚拟器件的多维匹配、语义组合、自动部署、目标物理器件激活技术等。关键问题是根据资源和能力需求动态构建虚拟化云制造环境,这需要建立综合效能预测模型,从多个维度根据约束条件匹配合适的虚拟器件,并结合智能优化组合技术对虚拟器件进行优化分解与组合,通过虚拟组合语义验证技术对备选物理器件的组合语义进行检验。然后根据“虚拟—物理器件”映射模型以及相关知识库,通过远程自动部署技术对目标物理器件进行实例化与初始化。在虚拟制造资源和能力的管理方面,涉及其状态和流程的监控、快捷管理、综合效能优化调度、在线迁移及高效备份技术等。IT类虚拟机的状态监视、管理控制、迁移等可采取云计算中的虚拟化相关技术;对于非IT类虚拟器件,在对虚拟器件关联的物理设备进行管理时,需要结合物联网、智能感知、嵌入式系统等技术。一个关键问题运行时效能的整体优化,需要建立综合效能评价模型,综合考虑能耗等各类因素,对资源的使用进行动态调度。在线迁移技术采用不同的迁移策略,并结合迁移成本评价技术选择目标物理器件,实现多个层次和粒度的手动或自动迁移,既能支持效能优化调度,又能支持容错。

3.6.4 虚拟机的动态整合

虚拟机的动态整合(Dynamic Consolidation of Virtual Machines, 以下简称虚拟机整合或 VM 整合)是云数据中心资源管理的一种技术手段,通过将过载或欠载物理主机上的虚拟机进行在线迁移,使虚拟机汇聚至较少的物理主机上,并将空闲主机节点切换至休眠状态,由此提高云数据中心的资源利用率与能源效率,保证服务质量,减少能源消耗,实现绿色计算。虚拟机整合(一些文献称为服务器整合)的目标是在服务质量 QoS 的约束下,尽量提高物理主机资源利用率,用尽可能少的物理主机来运行尽可能多的虚拟机。服务质量在商业中的表现形式一般是服务水平协定 SLA。可以将虚拟机整合问题粗略的划分为初次分配和迁移(即再次分配)问题。初次分配是确定新增 VM 放置的目的主机。再次分配是监控资源利用情况,负荷过重即过载时迁移走部分 VMs 使过载主机恢复正常,避免影响 QoS; 负荷过轻即欠载时将欠载主机的 VM 全部迁移至其他主机上从而使主机空负荷进入休眠,减少活跃主机数,以提高能源利用效率。优化的将 VMs 分配至数据中心的物理主机上的问题与经典的 Bin Packing 即装箱问题相仿,后者是指将指定的长度不一的项的集合装入最少的箱子中,是个 NP-hard 问题。而多种资源情况下的虚拟机整合是一个多维的 Bin Packing 问题,更复杂。

3.6.5 技术优化和发展前景

(1) 采用多分支路径的方法确保数据完整性云存储环境下具体应用不再只局限于数据存储和数据备份,更多的是面向动态的服务部署,如何有效地确保动态环境下数据完整性,将直接影响用户对云存储的体验和云服务提供商的信用,考虑直接在静态数据完整性证明机制上做一定程度的修改,使其支持动态数据的完整性证明,但不能支持全部的动态操作,如数据插入等,而且如果采用树形的数据结构来重新组织数据,通过增加访存复杂度来获取全动态的支持,但存在认证路径过程和认证路径所需的辅助信息过多等缺陷.可以采用多分支路径代替二叉树,减少节点的认证路径;同时,采用认证路径所特有的信息作为认证路径,

减少认证路径的辅助信息，提高了认证效率并减少了通信开销。

(2) 适合云存储更高效的数据可恢复证明机制云平台存储的数据通常是大规模数据，为其设计的数据完整性验证机制都是基于抽样的策略，当数据发生位偏转时，用户或可信第三方可能无法及时的发现该小概率事件，如何有效地确保云环境下数据的可恢复性将需要我们需要深入的研究。尤其是经典纠错码技术在大规模的数据集下并不可行，需要设计更加高效、合理的适合云存储的数据完整性证明机制，而目前在这方面的研究还相对较少。

(3) 多副本动态数据完整性验证机制由于云存储可以为用户提供廉价的存储空间，更多的用户喜欢采用多副本方式存储数据。如何确保云服务提供商确实按用户所要求的副本数目对原数据进行备份，将是未来需要考虑的一个问题，存储在云中的多个数据副本信息完全一样，采用原有的数据完整性验证机制将无法区分各个副本，目前最为常用的方法，是采用用户在外包数据之前，预先生成所需要的数据副本，然后为每个数据副本引入随机数加以区分存入云中，但该方法只能确认云服务提供商自身所提供的存储服务确实符合 SLA 协议。另外，在确保数据完整性的情况下，如何同时对多个数据副本进行动态操作也将是值得研究的问题。

(4) 跨云动态数据完整性证明机制用户可能为了提高数据的可用性和可靠性，从而选择多个云服务提供商来存储数据或部署应用，如何确保多个云服务提供商所存储的数据是完整的，也将是值得深入研究的问题。目前研究领域对跨云数据完整性证明机制进行建模，但并没有详细的实现步骤，仅仅只是定义了模型，需要设计一种可部署到具体实际应用中的跨云数据完整性证明机制，该机制可以很好地支持数据动态操作，以满足更多的应用。

第四章 系统测试



4.1 实验室测试

本项目先采用三维软件 Pro/E 进行仿真模拟测试，再采用“悬空测试”的方式（如图 4.1 所示），将蛇体用弹簧悬高。团队成员利用 PC 上位机发送控制指令，观察蛇体的三维空间运动形态，并且不断调整舵机控制软件中动作组的各占空比，进行实时观察，校正蛇体运动后的存储动作组，生成动作序列并下载至主控制板。此测试结果证明了仿生运动方式的可行性（如图 4.2 所示）。



图 4.1 实验室“悬空测试”

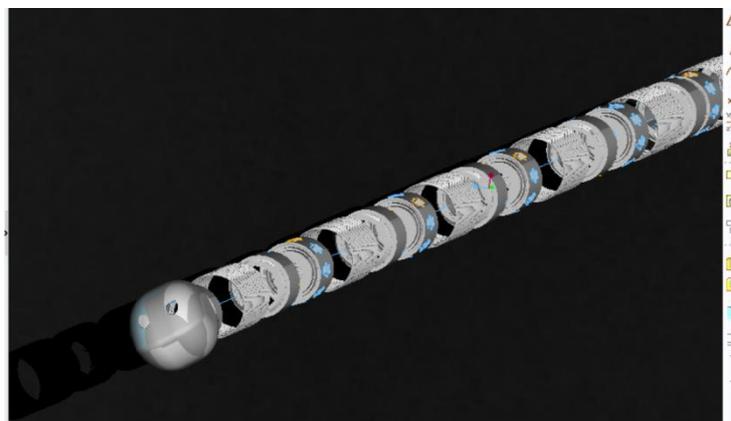


图 4.2 三维软件仿生运动测试

4.2 陆地测试

本团队将陆地运动测试分为**局部陆地测试**和**整机陆地测试**。

局部测试是选取作品中两节关节，将其拼接后由微控制器 STM32 输出两路独立脉宽调制波进行控制，观察两关节摆动幅度是否符合运动行波规律要求（如图 4.3 所示）。局部测试结果较成功，两舵机可正常扭动，摆幅符合要求，符合测试扭动规律的要求。



图 4.3 局部陆地测试

整机陆地测试是通过调通上位机人机交互软件 LabVIEW 和无线遥控手柄与嵌入式系统 NI myRIO 的无线方式通信，借助 PC 上位机与无线遥控手柄，将控制指令发送至蛇体，微控制器 STM32 产生 16 路独立的 PWM 波，从而实现蛇体的整机行波摆动测试。本项目团队按照预设的校正摆动规律，观测蛇体从动轮式前进结果。

测试结果：

- (1) 可实现按预设值控制舵机摆动规律，摆角可控范围测试为 60° — 120° ，实际摆动速度设置符合预设值，约 $0.5\text{sec}/60^{\circ}$ ；
- (2) 蛇体可在草地、泥土道路、硬化路面中缓慢前行（如图 4.4、图 4.5、图 4.6 所示），符合预期陆地行进效果。



草地行进测试

图 4.4 草地行进测试



图 4.5 泥土道路行进测试



图 4.6 硬化路面测试

4.3 水下测试

本团队成员对水陆两栖勘测云机器蛇进行较长时间的防水测试，同样将其分为**局部水下测试**和**整机水下测试**。

对于**局部水下测试**，本团队采用注入法，即将关节腔体内注水，关节外侧敷上吸水纸观察其浸染情况。若吸水纸上无明显的浸染墨水迹象，本团队则继续进行压力测试。此外，本团队将关节两端密封，内置吸水纸，将关节浸入染墨汁的水桶内，判断其内部的吸水纸是否被浸染（如图 4.7 所示）。

经测试，具有螺纹双凹槽结构设计的 3D 打印关节配以硅橡胶后，可有效提高其密封性，防水效果大大增强。



图 4.7 局部水下测试

对于**整机水下测试**，本团队将整条水陆两栖勘测云机器蛇置于人工湖，通过 PC 上位机对蛇体进行相应测试，包括上浮、下潜、行进等模式切换（如图 4.8 所示）。

经测试，蛇体可浮出水面，也可通过步态调整实现下潜，总体测试结果符合预期。



图 4.8 整机水下测试

4.4 云端互联测试

系统测试作为检测系统功能的重要环节之一，可以在较短时间内检验机器蛇项目中某一模块的可行性和稳定性。

数据采集和处理是水陆两栖勘测云机器蛇后期的一个工作重点。本团队主要针对机器蛇在云端和上位机之间的数据交换进行测试，检验其能否有效尽享数据交换，并且能够在终端返回有效值。为了达到这一目标，本项目对云计算程序进行了初步的测试，具体步骤为：用 java 代码生成 sql 脚本，并上传云端。检测云端接受数据情况。如图 4.9 所示。

```
    * @param args
    * @throws IOException
    */
    public static void main(String[] args) throws IOException {
        // TODO Auto-generated method stub
        new CreateSql().initMysql();
    }

    public void initMysql() throws IOException{
        PrintWriter out = null;
        try{
            out = new PrintWriter(new File("F:/insert_stu.sql")); // FileWriter("D:/temp/insert_st
            String insertStudentSql = null;
            for (int i = 0; i < stuNum; i++) {
```

图 4.9 部分测试代码

测试结果：可通过云端实现机器蛇环境传感数据的上传与处理，并且所获得数据正确。

本团队采用数据库来进行后期计算研究的实现，在嵌入式系统 NI myRIO 上下载并安装 sqlite，并用 Python 写远程连接代码，在虚拟机上用 java 链接到库，链接到 sqlite，并下载数据到云盘并传输到本地保存。

4.5 VR 三维环境建模测试

VR 强大的真实视觉感受是本团队为提高使用者使用感受而设计。为了保证回传图像的清晰和三维立体感，本团队进行了初步测试。具体方式如下：

通过有线连接方式，将 30 万像素双目摄像头采集的图像数据回传至上位机，上位机利用 WebCam 配套软件 CHUSEI 3D Webcam 对图像进行处理，分屏显示，借助远程登录控制软件 GoToMyCloud 使电脑受控端或手机主控端来进行屏幕共享，测试者佩戴 VR 眼镜观看传回的视频。

测试结果：

- (1) 可实现图像的分屏显示以及手机端正常显示（如图 4.10）；
- (2) 无线传输图像速率过慢，延时大于 10 秒，实时性体验感较差；
- (3) 第一视角的三维效果较明显，可初步实现 VR 虚拟现实体验。



图 4.10 VR 上位机界面

第五章 总结与展望



本项目设计的水陆两栖勘测云机器蛇——被誉为“最具动感的机器人”，其仿生的身体结构、独特的运动方式和功能的高集成度，使其可执行水陆环境中人工难以完成或无法完成的勘测任务。此外，其克服了传统机器人体积大、行动不灵敏等缺点，能够适应各种复杂、狭窄的水陆环境，从而可应用于灾后救援路径的规划、管道的检修和疏通、水产养殖的巡视作业、军事侦察等领域。

该水陆两栖勘测云机器蛇研制过程涉及 3D 打印、IDT WP3W-RK 无线充电模块、互联网大数据、VR、嵌入式系统等热门领域，涉及到滤波算法、3D 模型建模、水陆两用结构设计、PCB 印制、图像回传，防水结构、云计算等技术领域。由于涉及的知识和领域较为广泛，因此，本项目的研究和实现仅仅是一个开始，水陆两栖勘测云机器蛇的改进和优化还有待进一步完善。

未来本团队将以现有的水陆两栖勘测云机器蛇为基础，对其进行进一步的设计和创新，实现目标物测距，自动放置标志物，水下定位，水下导航，预测局部天气等新功能，为我国的一线工作者提供有力的帮助，也为机器蛇领域注入新鲜的血液！

致谢

在此竞赛即将完成之际，本项目团队衷心感谢组委会以及学校，给我们提供了此次锻炼机会，也感谢帮助过我们的老师、同学、朋友和亲人，给予我们无私的支持和帮助，在这里向他们致以最诚挚的谢意。

首先深深感谢我们的指导教师王新怀老师！王老师在学术研究中的敏锐思维、严谨作风以及其渊博的学识都使我们受益匪浅。王老师在此次竞赛中，不仅为我们提供了良好的研究环境，而且帮助我们克服种种困难，指出我们所犯的错误，给予我们悉心的指导。我们取得的每一点成绩都离不开王老师的教诲和点拨。在此，谨向王老师致以诚挚的谢意。

衷心感谢学校团委辛勤工作的老师们，感谢您在作品完成过程中提供给我们的无私帮助，感谢您们牺牲自己的休息时间帮助我们审核论文，并认真耐心地提出修改意见，感谢您们对我们无微不至的关怀和默默的支持。

感谢周围同学对我们在工作上的帮助，他们的积极配合和热心帮助使得我们的竞赛作品和论文撰写能够顺利完成；感谢本团队的每一个同学，在申报挑战杯的过程中，每个人都倾尽所能，互帮互助，高效率地完成申报的每项环节，为团队项目锦上添花。

最后感谢我们的亲人，尤其是我们的父母，没有他们的关心和爱护，就没有今天顺利完成作品的我们，感谢他们给了我们良好的家庭教育和学校教育。在此向他们致以最衷心的感谢和祝福！

参考文献:

- [1] 陈丽, 王越超, 马书根等 . 蛇形机器人行波运动的研究[J]. 机械工程学报. 2004, 40(12). 38-43.
- [2] 翟丽平 . 基于 MultiGen 的虚拟现实三维建模技术研究实现 [D] . 中国: 重庆大学 , 2005.
- [3] 王雪亮 . 地质矿产勘测工作高科技技术的应用研究[J]. 基础科学. 2014, 5. 126-127.
- [4] 张东霞, 苗新, 刘丽平等 . 智能电网大数据技术发展研究[J]. 中国电机工程学报. 2015 , (1). 2-12.
- [5] 郭敏. 基于三轴加速度计的倾斜角传感器的研究与设计[J]. 现代电子技术. 2010, (4). 173-177.
- [6] 金杰, 黄原成, 黄子明等 . 水下蛇形环境勘测机器人[J]. 电子产品世界. 2015, (10). 67-70.
- [7] Alessandro Crespi. AmphiBot I, an amphibious snake-like robot[J]//Robotics and Autonomous Systems, 2005, 50(4): 36-37.

附录

1. “长江学者”张进成教授推荐信

D. 推荐者情况及对作品的说明

说明：1. 由推荐者本人填写。

2. 推荐者须具有高级专业技术职称，并与申报作品相同或相关领域的专家学者或专业技术人员(教研组集体)推荐亦可。

3. 推荐者填写此部分，即视为同意推荐。

4. 推荐者所在单位签章仅被视为对推荐者身份的确认。

推荐者情况	姓名	张进成	性别	男	年龄	41	职称	教授
	工作单位	西安电子科技大学微电子学院						
	通讯地址	西安市太白南路2号	邮政编码	710071				
	单位电话	88201446	住宅电话					
推荐者所在单位签章	 (签章) 2017年4月11日							
请对申报者申报情况真实性做出阐述	申报人以勘测为切入点，设计了一套水陆两栖机器蛇，情况属实。							
请对作品的意义、技术水平、适用范围及推广前景做出您的评价	针对近几年灾害频发的情况，该作品可以实现勘测路径规划的功能，能够适用于输油管道检修，水上养殖，水库监测等领域，实用性较强，适用范围主要针对人员难以进入的狭小空间或有害空间，成本较低，推广前景较好。							
其它说明	张进成，“长江学者”特聘教授，博士生导师，宽带隙半导体技术国防重点学科实验室副主任，入选教育部新世纪优秀人才计划。							

2.西安电子科技大学周佳社教授推荐信

D. 推荐者情况及对作品的说明

说明: 1. 由推荐者本人填写;

2. 推荐者必须具有高级专业技术职称, 并是与申报作品相同或相关领域的专家学者或专业技术人员 (教研组集体推荐亦可);

3. 推荐者填写此部分, 即视为同意推荐;

4. 推荐者所在单位签章仅被视为对推荐者身份的确认。

推荐者情况	姓名	周佳社	性别	男	年龄	56	职称	教授
	工作单位	西安电子科技大学电子工程学院						
	通讯地址	西安西大街兴隆段266号	邮政编码	710126				
	单位电话	029-81891089	住宅电话	13891822299				
推荐者所在单位签章	 (签章) 2017年3月14日							
请对申报者申报情况的真实性作出阐述	“水陆两栖多功能云机器人”项目是李鹏程、王睿、陈佳燕同学在电2电子实验室完成的, 情况属实。							
请对作品的意义、技术水平、适用范围及推广前景作出您的评价	该作品以蛇形机器人形式对环境感知进行探测, 并以串行通信控制控制板, 通过上位机控制设计, 适用范围广, 特别是在一些复杂或危险环境场合有广泛实用的应用价值。							
其它说明	周佳社教授, 男, 陕西省教学名师, 国家级教学成果奖获得者。担任国家级电工电子示范中心常务副主任, 校级电子设计竞赛组委会主任, 教练组任组长。							

3. 西安电子科技大学王爽教授推荐信

推荐者情况	姓名	王爽	性别	女	年龄	39	职称	教授	
	工作单位	西安电子科技大学							
	通讯地址	陕西省西安市太白南路2号					邮编	710071	
	单位电话	029-88201020	住宅电话						
推荐者所在单位签章	 签章日期 2017年3月14日								
请对申报者申报情况的真实性作出阐述	申报者申报情况属实。								
请对作品的意义、技术水平、适用范围及推广前景作出您的评价	该作品所研发的“水陆两栖机器人”，对于水下侦察、辅助水下作业等均具有重要意义。此作品由主要部件由3D打印完成，成本价低，设计灵活，可以实现远程控制，并可通过VR技术增强用户体验。在作品开发中应用了多项新技术，其应用前景广阔。								
其它说明	王爽教授，博士生导师，国家级电工电子示范中心主任，智能信息化处理研究所副所长，国家“111”计划创新引智基地成员，美国电气电子工程师协会(IEEE)会员，英国工程技术学会(JET)会员，中国电子学会会员，中国计算机学会会员，参与国家“863”计划项目，“十五”国际预研项目，国家973计划子项等多项国家科研任务。								

4.广东省智谷动力科技有限公司合作意向书

科研战略合作意向书

甲方：广东智谷动力环境科技有限公司

乙方：《水陆两栖勘测云机器蛇》团队

经广东智谷动力环境科技有限公司（以下简称甲方），同《水陆两栖勘测云机器蛇》团队（以下简称乙方，甲方和乙方以下合称为“双方”）友好协商，决定本着互惠互利、平等合作的原则，以获得重大的科技创新和良好的社会效益，满足各自经济利益。为此达成本科研战略合作意向书（以下简称本协议）。

一、乙方应具备如下基本前提条件：

- (1) 乙方对该专案已经完成书面可行性建设方案；
- (2) 乙方对该项目具备合法、独立的建设权；
- (3) 乙方能够独立落实并完成项目的设计；
- (4) 乙方对于向甲方就该项目所提供的相关书面档的真实、合法与有效性能够承担法律责任；

二、在乙方提供相关项目资料后，甲方认为乙方有能力满足上述款的所有内容，则开始执行如下协议条款：

三、甲方与乙方就《水陆两栖勘测云机器蛇》项目合作。

四、甲乙双方约定项目合作期为3年；

五、合作目的：

- 1、通过乙方项目的资源，利用机器蛇，在实际环境中工作测试，构建高效率的勘察方式，提高国内的地质、水质勘察水平。
- 2、在科技研究方面，注重科技成果向产业的转化，加快我国地质勘测的发展。
- 3、双方展开深度科研研究，实现更高层次的科技创新，协助双方技术的行业领先。

六、甲方责任：

- 1、甲方依据乙方提供的有关项目资料，经初步论证后，如认为乙方的项目有考察的必要，则应向乙方发出考察的通知。甲方对乙方的项目考察完毕当日，应向乙方出具内容同时包括考察完毕的结束语和3天之内最终确认甲方是否有必要对乙方项目继续运作的回函。如到时间后，甲方仍不通知乙方，则乙方可认定甲方不会继续合作，同时本协议作废。如果在约定时间之内，甲方回函通知乙方应找相关的专业机构对乙方的项目做尽职调查报告；
- 2、充分利用企业的设备优势和生产条件为乙方提供良好的生产试验条件和校外实训基地，并合作共建产学研结合示范基地，为乙方学生的教学实践活动提供方便。



3、接受乙方教师到企业进行生产实践,为双方合作人员进行科学研究提供良好的大生产试验条件,合作完成科研任务。

七、乙方责任:

- 1、为甲方的长远发展、战略定位、提高企业的自主创新能力提供技术支持,促进传统产业改造和高新技术产业发展。
- 2、根据甲方提出的高新技术项目需求和企业技术难题,积极组织力量进行研究开发、成果转化和技术攻关,支持企业技术创新。帮助甲方进行新产品开发、新技术、新工艺、新材料、新设备的推广应用,帮助甲方进行质量攻关。
- 3、帮助甲方解决产业优化中制约产业发展的关键技术、共性技术以及企业的具体技术工艺问题和管理问题,把乙方的技术成果优先提供给企业进行成果转化和产业化。
- 4、协助甲方做好企业所需人才的培养、技术咨询、技术培训和职业技能鉴定工作。

八、费用

- 1、本协议为不付费协议。
- 2、如需支付与本协议有关的费用,双方另起单项协议。

九、甲乙双方合作需恪守诚信第一原则,合作期间应保持顺畅沟通。若发生争议应先协调,协调不成,依法于签约地人民法院提起诉讼;

十、本意向书中英文对照,一式两份,甲乙双方各执一份。当英文定义与释意等发生冲突或差异的情况下,以中文解释含义为准;

十一、本协议签署当日,甲方应向乙方提交相关公司背景资料(如营业执照复印件等);

十二、从本协议签署之日算起,7天以内如果甲乙双方均未再提出疑义,则本协议正式生效。

甲方: _____



乙方: 李鹏程

签署时间: 2017年4月7日

签署时间: 2017年4月7日



5.山东赛石置业集团有限公司合作意向书

科研战略合作意向书

甲方：山东赛石置业集团有限公司

乙方：《水陆两栖勘测云机器蛇》团队

经山东赛石置业集团有限公司（以下简称甲方），同《水陆两栖勘测云机器蛇》团队（以下简称乙方，甲方和乙方以下合称为“双方”）友好协商，决定本着互惠互利、平等合作的原则，以获得重大的科技创新和良好的社会效益，满足各自经济利益。为此达成本科研战略合作意向书（以下简称本协议）。

一、乙方应具备如下基本前提条件：

- 1、乙方对该专案已经完成书面可行性建设方案；
- 2、乙方对该项目具备合法、独立的建设权；
- 3、乙方能够独立落实并完成项目的设计；
- 4、乙方对于向甲方就该项目所提供的相关书面资料的真实、合法与有效性能够承担法律责任。

二、在乙方提供相关项目资料后，甲方认为乙方有能力满足上述款的所有内容，则开始执行如下协议条款：

- 1、甲方与乙方就《水陆两栖勘测云机器蛇》项目合作；
- 2、甲乙双方约定项目合作期为3年。

三、合作目的：

- 1、通过乙方项目的资源，利用机器蛇，在实际环境中工作测试，构建高效率的勘察方式，提高国内的地质、水质勘察水平。
- 2、在科技研究方面，注重科技成果向产业的转化，加快我国勘测的发展。
- 3、双方展开深度科研研究，实现更高层次的科技创新，协助双方技术的行业领先。

四、甲方责任：

- 1、甲方依据乙方提供的有关项目资料，经初步论证后，如认为乙方的项目有考察的必要，则应向乙方发出考察的通知。如甲方未通知乙方，则乙方可认定甲方不会继续合作，同时本协议作废。
- 2、充分利用企业的设备优势和生产条件为乙方提供良好的生产试验条件和校外实训基地，并合作共建产学研结合示范基地，为乙方学生的教学实践活动提供方便。

3、接受乙方教师到企业进行生产实践，为双方合作人员进行科学研究提供良好的大生产试验条件，合作完成科研任务。

五、乙方责任:

1、为甲方的长远发展、战略定位、提高企业的自主创新能力提供技术支持，促进传统产业改造和高新技术产业发展。

2、根据甲方提出的高新技术项目需求和企业技术难题，积极组织力量进行研究开发、成果转化和技术攻关，支持企业技术创新。帮助甲方进行新产品开发、新技术、新工艺、新材料、新设备的推广应用，帮助甲方进行质量攻关。

3、帮助甲方解决产业优化中制约产业发展的关键技术、共性技术以及企业的具体技术工艺问题和管理问题，把乙方的技术成果优先提供给企业进行成果转化和产业化。

4、协助甲方做好企业所需人才的培养、技术咨询、技术培训和职业技能鉴定工作。

六、费用:

1、本协议为不付费协议。

2、如需支付与本协议有关费用，双方另起单项协议。

七、甲乙双方合作需恪守诚信第一原则，合作期间应保持顺畅沟通。若发生争议应先协调，协调不成，依法于签约地人民法院提起诉讼。

八、本意向书一式两份，甲乙双方各执一份。

九、本协议经双方代表签字盖章生效，建立长期稳定的战略协作关系。

十、本协议未尽事宜，由甲乙双方协商解决。

甲方: 山东鲁石置业集团有限公司 乙方: 水陆两栖勘测云机器蛇团队

代表人签字: [Signature]

代表人签字: 李鹏程

签署时间: 2017年4月6日

签署时间: 2017年4月6日

6. 莱芜钢铁集团鲁南矿业有限公司合作意向书

科研战略合作意向书

甲方：莱芜钢铁集团鲁南矿业有限公司

乙方：《水陆两栖勘测云机器蛇》团队

经莱芜钢铁集团鲁南矿业有限公司（以下简称甲方），同《水陆两栖勘测云机器蛇》团队（以下简称乙方，甲方和乙方以下合称为“双方”）友好协商，决定本着互惠互利、平等合作的原则，以获得重大的科技创新和良好的社会效益，满足各自经济利益。为此达成本科研战略合作意向书（以下简称本协议）。

一、乙方应具备如下基本前提条件：

- 1、乙方对该专案已经完成书面可行性建设方案；
- 2、乙方对该项目具备合法、独立的建设权；
- 3、乙方能够独立落实并完成项目的设计；
- 4、乙方对于向甲方就该项目所提供的相关书面资料的真实、合法与有效性能够承担法律责任。

二、在乙方提供相关项目资料后，甲方认为乙方有能力满足上述款的所有内容，则开始执行如下协议条款：

- 1、甲方与乙方就《水陆两栖勘测云机器蛇》项目合作。
- 2、甲乙双方约定项目合作期为3年。

三、合作目的：

- 1、通过乙方项目的资源，利用机器蛇，在实际环境中工作测试，构建高效率的勘察方式，提高国内的地质、水质勘察水平。
- 2、在科技研究方面，注重科技成果向产业的转化，加快我国勘测的发展。
- 3、双方展开深度科研研究，实现更高层次的科技创新，协助双方技术的行业领先。

四、甲方责任：

- 1、甲方依据乙方提供的有关项目资料，经初步论证后，如认为乙方的项目有考察的必要，则应向乙方发出考察的通知。如甲方未通知乙方，则乙方可认定甲方不会继续合作，同时本协议作废。
- 2、充分利用企业的设备优势和生产条件为乙方提供良好的生产试验条件和校外实训基地，并合作共建产学研结合示范基地，为乙方学生的教学实践活动提供方便。

3、接受乙方教师到企业进行生产实践，为双方合作人员进行科学研究提供良好的大生产试验条件，合作完成科研任务。

五、乙方责任：

- 1、为甲方的长远发展、战略定位、提高企业的自主创新能力提供技术支持，促进传统产业改造和高新技术产业发展。
- 2、根据甲方提出的高新技术项目需求和企业的技术难题，积极组织力量进行研究开发、成果转化和技术攻关，支持企业技术创新。帮助甲方进行新产品开发、新技术、新工艺、新材料、新设备的推广应用，帮助甲方进行质量攻关。
- 3、帮助甲方解决产业优化中制约产业发展的关键技术、共性技术以及企业的具体技术工艺问题和管理问题，把乙方的技术成果优先提供给企业进行成果转化和产业化。
- 4、协助甲方做好企业所需人才的培养、技术咨询、技术培训和职业技能鉴定工作。

六、费用：

- 1、本协议为不付费协议。
- 2、如需支付与本协议有关费用，双方另起单项协议。

七、甲乙双方合作需恪守诚信第一原则，合作期间应保持顺畅沟通。若发生争议应先协调，协调不成，依法于签约地人民法院提起诉讼。

八、本意向书一式两份，甲乙双方各执一份。

九、本协议经双方代表签字盖章生效，建立长期稳定的战略协作关系。

十、本协议未尽事宜，由甲乙双方协商解决。

甲方：莱芜钢铁集团鲁南有限公司 乙方：水陆两栖勘测云机器蛇项目组

代表人签字：于斌

代表人签字：李鹏程

签署时间：2017年4月5日

签署时间：2017年4月5日

7.数据上传测试代码

```
package test01;

import java.io.File;
import java.io.IOException;
import java.io.PrintWriter;
import java.util.Random;

public class CreateSql {

    private int stuNum =700;
    static Random ran = new Random();
    private Long beginAngleOfPitch = new Long(0);
    private Long endAngleOfPitch = new Long(180);
    private Long beginTemperture = new Long(-40);
    private Long endTemperture = new Long(90);
    private Long beginDriftAngle = new Long(0);
    private Long endDriftAngle = new Long(90);
    /**
     * @param args
     * @throws IOException
     */
    public static void main(String[] args) throws IOException {
        // TODO Auto-generated method stub
        new CreateSql().initMysql();
    }

    public void initMysql() throws IOException{
        PrintWriter out = null;
        try{
            out = new PrintWriter(new File("F:/insert_stu.sql")); // FileWriter("D:/temp/insert
            _stu.sql");

            String initScoreSql = null;
            for (int i = 0; i < stuNum; i++) {
                initScoreSql = "insert into snaketable values ("
                    +(i+1)+", "
                    +getData1()+"B°", "
                    +getData3()+"B°C', "
                    +getData2()+"B° );";
            }
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
}
```

```
out.println(initScoreSql);
}
}finally{
System.out.println("done.");
if(out!=null){out.close();}
}

}

public Long  getData3() {
// TODO Auto-generated method stub
return randomRange(beginTemperture, endTemperture);

}

public Long  getData2() {
// TODO Auto-generated method stub
return randomRange(beginDriftAngle, endDriftAngle);

}

public Long  getData1(){
return randomRange(beginAngleOfPitch, endAngleOfPitch);
}

public static long randomRange(long start,long end)
{
return (long)(Math.random()*(end-start)+start);
}
```

8.远端端口调试测试代码

```
package com.company;

import java.sql.*;

public class Main {

    public static void main(String[] args) {
// write your code here
        Connection connection=null;
        Statement statement=null;
        ResultSet rs=null;
        try {
            Class.forName("com.mysql.jdbc.Driver");
            // Driver driver =new com.mysql.jdbc.Driver();

            //获取数据库连接
            String url= "jdbc:mysql://42.159.244.202:3306/snake?useUnicode=true&
characterEncoding=utf-8";
            connection = DriverManager.getConnection(url,"root","3edc4RFV");
            //获取 statement
            statement =connection.createStatement();

            //sql 语句
            String insertSql =" insert into stu_class values(81,34,71,45)";
            //执行 sql
            int rs1 =statement.executeUpdate(insertSql);
            System.out.println(rs1);
            //查询
            String sql="select *from stu_class";
            rs=statement.executeQuery(sql);

            //遍历语句
            while(rs.next()){

                String class_name=rs.getString("class_name");
//                String string =rs.getString();
//                System.out.println(string);
                System.out.print(class_name+" ");
                String class_code=rs.getString("class_code");
```

```
        System.out.print(class_code+" ");
        String major =rs.getString("major");
        System.out.print(major+" ");
        String major_code=rs.getString("major_code");
        System.out.println(major_code);

    }
    rs.close();

} catch (ClassNotFoundException e) {
    e.printStackTrace();
} catch (SQLException e) {
    e.printStackTrace();
} finally{

    if(rs !=null) try {
        rs.close();
    } catch (SQLException e) {
        e.printStackTrace();
    }
    if(connection !=null) try {
        connection.close();
    } catch (SQLException e) {
        e.printStackTrace();
    }

    if(statement !=null) try {
        statement.close();
    } catch (SQLException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}
}
```


10.PCB 布线图

