

2026 年广东省工科大学学生实验综合技能竞赛

柔性振动检测模块的设计

随着具身智能、机器人仿生手以及柔性操作技术的发展，机器人末端执行器已从传统“刚性抓取”逐步向“柔性感知”方向演进。在精密抓取、易损物品操作、复杂表面接触以及动态交互等应用场景中，仿生手不仅需要完成抓取动作，还需要实时感知接触状态、接触稳定性以及目标物体的微振动特征，从而实现更加精准的闭环控制。

其中，基于柔性电子技术的振动检测模块，是实现仿生手接触感知的重要组成部分。当仿生手与目标物体接触时，目标物体产生的振动信号会通过接触面传递至检测模块。由于仿生手表面通常具有弧面结构，若采用传统刚性电路，难以保证传感器与接触面的稳定贴合，振动信号容易衰减。因此，需要采用柔性 PCB 与弧形结构贴合设计，以保证振动信号能够被有效采集。

柔性振动检测模块的工作原理如图 1 所示。模块设有供电接口（由外部电源供电），并预留 4pin 标准接口（含电源 2pin、串口信号 2pin）；模块需与组委会提供的仿生手配合使用，柔性电路板完整贴合于弧形表面。当仿生手单指结构与带振动激励的目标物体接触时，目标物体产生振动、通过接触面传导至柔性振动检测模块，板载传感器对振动信号进行实时采集，随后由单片机完成数据处理与频率检测，并通过串口向外部测试平台实时输出检测结果。

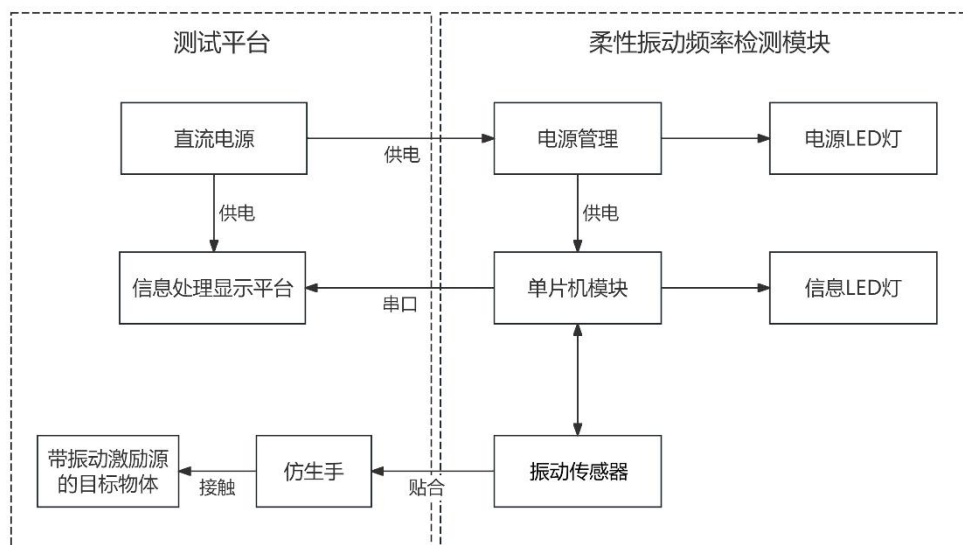


图 1 柔性振动检测模块的工作原理示意图

仿生手尺寸和其单指尺寸，以及抓取目标物体示意图如图 2 所示。该仿生手单指宽度约为 13mm。

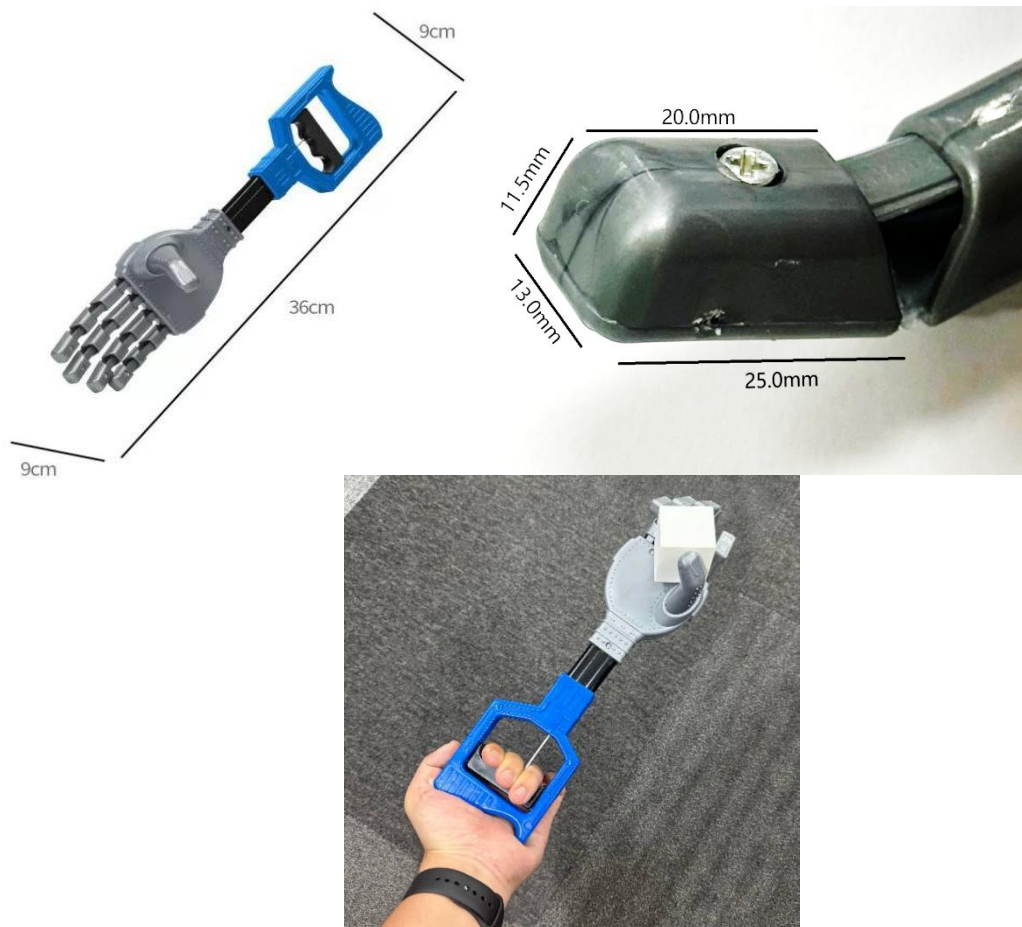


图 2 仿生手与仿生手抓取目标物体示意图

1、竞赛任务

各参赛队需要完成检测模块柔性 PCB（以 PI 为基底的 PCB 板）的设计及制作、元器件焊接和组装，接上电源后完成程序的编写和调试。组委会现场提供的物料包是用于检测模块的组装、结构集成和程序的调试。

2、检测模块制作要求

参赛队具备基于 ESP32-C3 单片机的电路板设计、电路板焊接、嵌入式软件开发和系统安装调试的能力。

各参赛队须自备笔记本电脑、PCB 设计相关软件、嵌入式软件开发工具及程序烧录工具（CH340、USB Type-C 线材）、可调温电烙铁（最低焊接温度可设置到 180℃）、安装调试工具（直流 12V 电源等）和仪表、少量杜邦线等。

参赛作品要按照公布的命题完成，并在组委会提供的测试平台上完成考核。

参赛作品要求全部采用组委会发放的物料制作完成，如果采用非组委会发放

的物料，取消比赛资格。

3、竞赛过程

根据发布竞赛任务，各参赛队根据组委会提供的相关资料，在校内完成柔性振动检测模块 PCB 板的设计，按照规定的时间和方式提交组委会，然后由组委会组织专家进行评审，并对符合要求的 PCB 设计统一进行柔性 PCB 的制作。**由于设计不符合要求而无法制板的队伍，不参加后续的现场比赛。**制作完毕之后，在现场实践环节向柔性 PCB 设计合格的参赛队伍，发放该队伍设计的且已制作好的柔性 PCB 板和物料包。在规定的时间内完成检测模块的元器件焊接、组装、程序开发和调试。柔性 PCB 不能正常工作的参赛队伍，或者放弃使用自己设计的柔性 PCB 板的参赛队伍，可以选用组委会提供的标准柔性 PCB 板和物料包，完成焊接、程序开发、调试等内容（扣除总分的 50%）。

4、赛程安排

“柔性振动检测模块”赛项由设计、现场实践和现场考核等三个环节组成。第一环节主要进行“柔性 PCB 设计”，现场比赛前在校内完成，根据设计结果进行评分。第二环节是现场创新实践环节，按照要求完成作品制作和程序调试，第三环节是现场考核。第二、第三环节的具体要求和评分标准现场发布。

5、运行环境说明

组委会提供以可控振动激励的标准测试件为基础的标准化测试平台，参赛队在测评阶段将其作品与仿生手单指结构集成，在标准化测试平台上基于完成作品的测评流程。

在现场实践环节，现场将提供 220V 交流电以及必要的辅助材料。

6、竞赛内容

1) 第一环节：检测模块设计

根据竞赛组委会提供的竞赛资料包，各参赛队自行设计“柔性振动检测模块”（以下简称检测模块）。该模块用于实时检测仿生手与目标物体的接触状态、目标物体产生的持续振动或者周期振动，需要检测持续振动频率（80Hz~180Hz）与启停频率（即某一固定频率振动状态与无振动状态组成的周期频率，0~3Hz）。要求如下：

- 基于组委会提供的 ESP32C3 的单片机模块和 MPU6050 传感器模块，设计并实现柔性振动检测模块。模块以柔性电路板为基础，结合电源电路以

及嵌入式程序协同工作，完成振动信号采集、接触状态识别、串口信息输出等功能；

- 检测模块上的 ESP32C3 的单片机模块通过 I2C 连接 MPU6050 传感器模块，实时读取传感器加速度计信息，并通过单片机完成数据处理与频率解析；
- 检测模块需要设计稳压电路，给单片机模块和传感器模块供电，稳压电路的输入电压为 12V，输出电压为 5V，要求用红色 LED 指示灯常亮来表征稳压电路的输出电压处于正常工作状态，单片机控制绿色 LED 指示灯的闪烁显示电路是否正常运行；
- 须在 12V 转 5V 稳压电路的前端串联接入电源总开关，控制整个检测模块的电源通断。开关断开时，模块所有电路均应完全断电，不得存在静态功耗；
- 检测模块检测需要预留黄色 LED 指示灯并可以控制其亮灭；
- 检测模块采用组委会提供的电源供电，电源的输出电压为 12V。供电接口采用杜邦线方式连接，通过提供指定焊盘预留焊接位置，现场焊接杜邦线；
- 检测模块具有串口通讯功能，接口标准为 TTL 电平，串口连接采用杜邦线方式连接，通过提供指定焊盘预留焊接位置，现场焊接杜邦线；
- 检测模块的串口通讯和电源采用 4pin 标准接口，需用 4 个开窗焊盘（可参考库中封装，每个焊盘开窗尺寸大于 4mmX2mm），焊接 4 根 30CM 公头杜邦线作为电源与串口通讯连接线，线序依次为：VIN（12V）、GND、TXD、和 RXD；线序如图 3 所示；



图 3 杜邦线线序示意图

- 检测模块的设计尺寸与外边框必须按照组委会提供的外框设计；
- 检测模块需采用柔性 PCB 进行设计，柔性 PCB 需能够完整贴合于组委会提供的标准弧形仿生手单指结构表面，要考虑弯曲区域设计；

- 检测模块电路设计及 PCB 设计必须采用组委会提供的元器件清单中的器件，器件数量不得超过清单规定数量，不允许使用清单外器件。PCB 封装可参考组委会提供的封装库；
- 检测模块电路设计电路板必须按照 PCB 设计要求绘制；
- 电机功率检测模块设计和 PCB 设计必须采用下列表 1 元器件清单库中的元器件，且数量也不能超过清单中给出的数量，封装可以参考封装库中内容，不允许采用非清单库中的器件。

表 1 元器件清单

序号	名称	型号/数值	封装	数量
1	贴片电容	0.1uF	0805_C	3
2		1uF	0805_C	3
3		10uF	0805_C	2
4		22uF	0805_C	2
5	贴片电阻	120Ω	0805_R	5
6		360Ω	0805_R	5
7		1KΩ	0805_R	5
8		1.5KΩ	0805_R	5
9		3KΩ	0805_R	5
10		4.7KΩ	0805_R	5
11	贴片 LED	红色	0805_LED	2
12	贴片 LED	绿色	0805_LED	2
13	贴片 LED	黄色	0805_LED	2
14	滑动开关	卧贴两档 3 脚	SK-3245S-L1-A	1
15	电源稳压芯片	AMS1117-ADJ	SOT-223	1
16	单片机模块	ESP32-C3	ESP32C3	1
17	传感器模块	MPU-6050 模块	MPU6050	1
18	杜邦线	单公头 30mm	4PIN-Land	6
19	仿生手		/	1

2) 检测模块设计要求

根据命题和组委会提供的资料，参赛选手必须在现场比赛前，使用电路设计软件（如 Altium Designer、嘉立创 EDA 等）完成柔性振动检测模块的电路原理图设计和 PCB 设计，PCB 设计采用双面板或单面板，且器件标识和网络关系必须与原理图一致，并生成符合规范要求的印制线路板 Gerber (RS-274X) 工程文件，PCB 设计需要符合“PCB 设计要求”（见下文第 3 点）。

参赛队伍需要分别提交原理图源文件、原理图 PDF 格式文件、PCB 设计源文件和 Gerber 格式 (RS-274X) 制板文件。参赛队伍必须以队伍编号（报名结束后

发布)命名所需要提交的每个文件,并将制板文件(Gerber文件)单独放入以队伍编号命名的文件夹中,将所有文件打包,文件名:队伍编号+ZIP/RAR,然后按照组委会要求的方式提交(具体提交时间和方式见后续通知)。没有按时提交设计文档取消后续比赛资格,制板文件数量不足、制板文件格式错误的、文件命名出现学校或个人信息等,均不予制作。

3) PCB 外框设计要求

检测模块 PCB 必须采用柔性电路板设计,整体外形尺寸可以参考组委会提供的标准外框,但最大外形尺寸不得超过 100mm(长)×25mm(宽)。如图 4 中黄色边框标注的区域为强制弯曲避让区,该区域内严禁放置任何元器件,只允许进行电气布线与过孔。

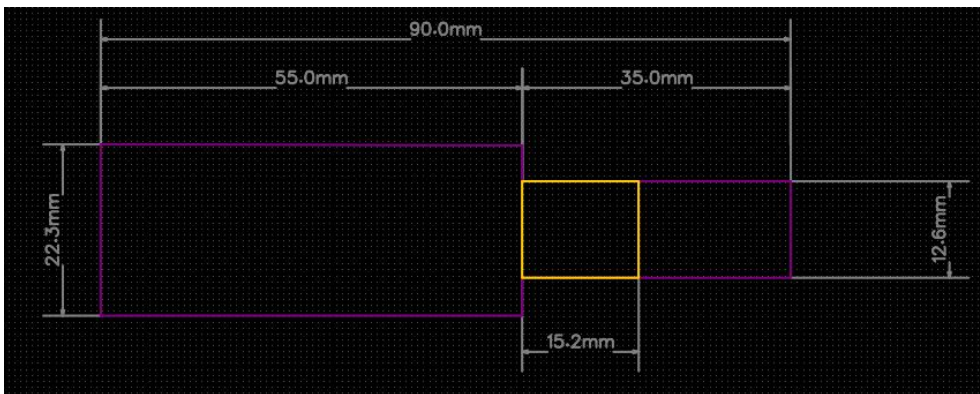


图 4 外框尺寸示意图

4) PCB 设计要求

为提高制板效率,满足比赛现场时间要求,现对选手提供的制板文件提出以下要求:

- (1) 检测模块 PCB 只能使用《物料清单》中的物料。
- (2) 边框(板框)放置在 Keep-Out Layer 层(板框层),边框必须为闭合图案,边框所有线条宽度都保持一致,有且只能有 1 个边框。除边框外,Keep-Out Layer 不能有其他任何图案。非闭合边框,或边框尺寸超过限定范围,不予制作。
- (3) 单面或双面板设计,制板文件格式为 Gerber (RS-274X),双面板至少包含 GKO、GTL、GBL、孔层(TXT/DRL)等 4 个文件,单面板至少包括 GKO、GTL/GBL、孔层(TXT/DRL)等 3 个文件。制板文件数量不足或制板文件格式错误,不予制作。
- (4) 最小线宽、最小线间距(线边缘间距) 10mil (0.254mm);最大线

宽 100mil (2.54mm)；元器件最小间距 20mil (0.508mm)；导线与焊盘、导线与过孔、焊盘与焊盘、过孔与过孔、焊盘与过孔的间距不小于 10mil (0.254mm)；导线与边框、过孔与边框、焊盘与边框的间距不小于 12mil (0.305mm)；单个封装内焊盘宽度不小于 12mil (0.305mm)，焊盘中心间距不小于 25mil (0.635mm)，焊盘边缘间距不小于 12mil (0.305mm)；板载连接器引脚最小间距不小于 100mil (2.54mm)。线宽、间距超过限定范围，不予制作。

(5) 所有插件焊盘（通孔）的尺寸统一为内径 47mil (1.20mm，孔径)、外径 90mil (2.3mm)；过孔内径只有 25mil (0.635mm，孔径) 一种规格，过孔外径不小于 45mil (1.143mm)；固定孔以过孔的形式放置，孔内径只能为 118mil (3mm)；所有孔必须为圆形孔；除 25mil (0.635mm)、47mil (1.20mm)、118mil (3mm) 的圆形孔以外，其他尺寸与形状的过孔、钻孔、通孔等一概不予制作。

(6) 所有电气连接均以走线 (Track) 方式连通，不可使用铺铜 (Poly)，否则不予制作。

5) ESP32C3 单片机模块说明

ESP32-C3 是一款基于 Espressif ESP32-C3 Wi-Fi/蓝牙双模芯片的 IoT 迷你开发板。ESP32-C3 是一款 32 位 RISC-V CPU，包含 FPU（浮点单元），可进行 32 位单精度运算，适用于需要一定计算能力的应用场景。

ESP32-C3 为了便于焊接操作，并满足赛题要求，组委会提供了该芯片的扩展封装板，单片机已在扩展板上焊接完成，并将单片机的 13 个引脚以邮票孔形式引出，脚间距 2.54mm，模块整体尺寸是 19mm×23mm，模块的外观见图 5。板上有一个的重置按钮和一个引导加载程序模式 BOOT 按钮，烧写程序只需使用 USB Type-C 线材连接单片机模块即可烧录。进入下载模式的方法：按住 ESP32-C3 的 BOOT 按键，然后按下 RESET 按键，松开 RESET 按键，再松开 BOOT 按键，此时 ESP32-C3 会进入下载模式。

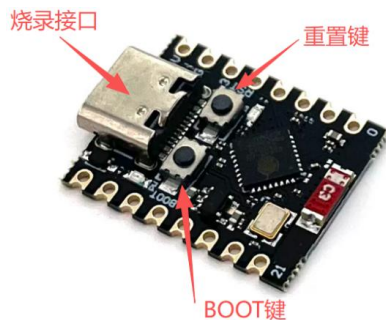


图 5 ESP32-C3 单片机模块的外观图

ESP32-C3 模块的引脚说明见图 6 所示。

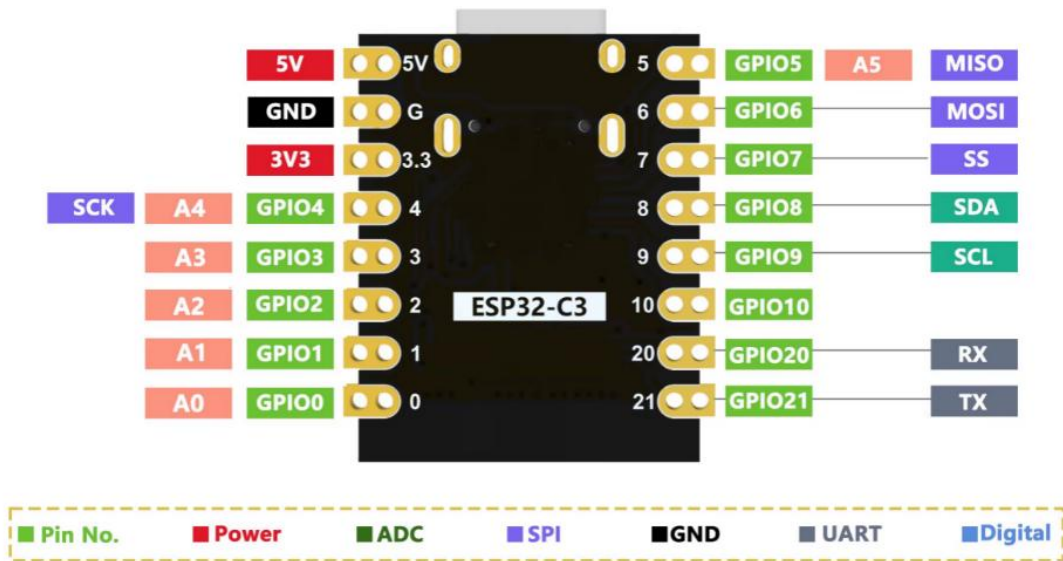


图 6 ESP32-C3 单片机模块的引脚说明

在进行 PCB Layout 设计时，请参考“封装库”文件中的封装设计。为防止 ESP32-C3 单片机模块板后 Type-C 连接器部位两侧与 PCB 板产生短接，需要在 PCB 板对应如图 7 所示网格区域中禁止布线。

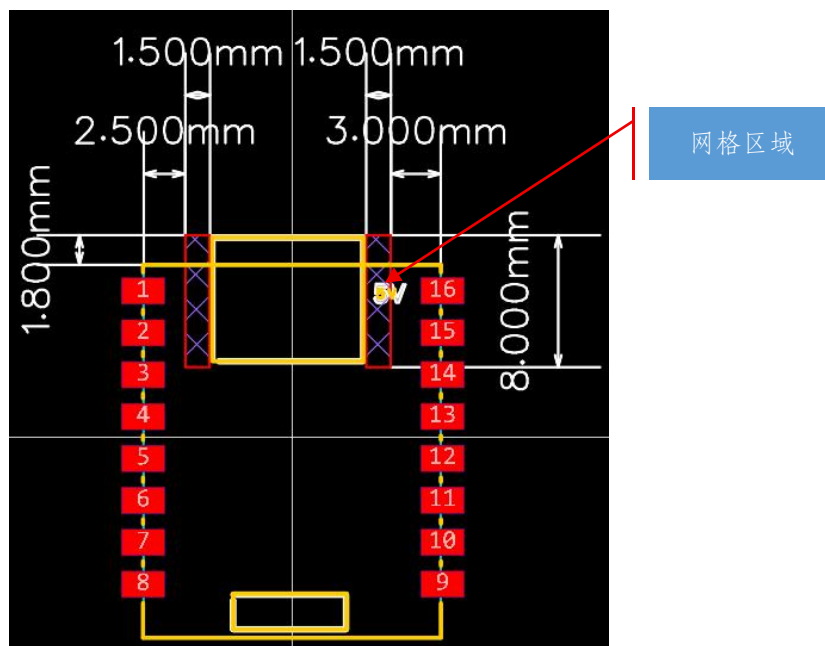


图 7 ESP32-C3 单片机模块在 PCB 板上禁止布线区域说明

6) MPU6050 传感器模块说明

MPU6050 传感器模块是基于 MPU6050 六轴运动处理芯片集成了外围 LD0、I2C 上拉电阻的模块。MPU6050 芯片内部整合了 3 轴陀螺仪和 3 轴加速度计，对陀螺仪和加速度计分别用了三个 16 位的 ADC，将其测量的模拟量转化为可输出的数

字量。

为了便于焊接操作，并满足赛题要求，组委会提供了该芯片的扩展封装板，MPU6050 已在扩展板上焊接完成，并将 MPU6050 的 I2C 引脚与相关控制引脚以邮票孔形式引出，脚间距 2.54mm，模块整体尺寸是 14.86mm×11.5mm，工作电压 5V。模块的尺寸和布局见图 8 所示。

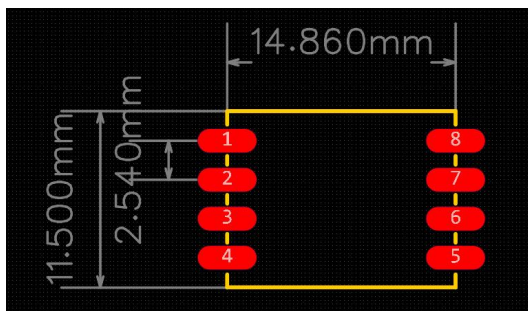


图 8 MPU6050 传感器模块的尺寸和布局图

MPU6050 传感器模块的引脚定义如下：

表 2 MPU6050 传感器模块的引脚定义

引脚号	引脚名称	引脚类型	功能定义
1	VCC	电源引脚	电源输入，接标准电压 5V
2	GND	电源引脚	电源地
3	SCL	I/O	I2C 时钟，内置 5.1K 上拉
4	SDA	I/O	I2C 数据，内置 5.1K 上拉
5	AD0	I/O	I2C 地址配置脚
6	AUX_CL	I/O	作为主机 I2C 时钟接口，接外部传感器的 SCL
7	AUX_DA	I/O	作为主机 I2C 数据接口，接外部传感器的 SDA
8	INT	I/O	中断输出脚

第一环节的设计不符合要求的，将不能参加后续的比赛环节。

组委会提供的电子文档：

- 1) 物料清单；
- 2) 主要物料的数据手册；
- 3) 电子元器件 PCB 封装库与原理图库。

7) 第二环节（现场实践）

在规定时间内，各参赛队按照现场发布的任务命题，采用现场提供的材料（电子元器件由组委会提供），完成相关电路的制作和程序开发及烧写，并进行调试。若参赛队没有按规定完成相关电路的制作和程序的开发，将不能参与后续的比赛环节。

在规定时间内，各参赛队按照现场发布的任务命题，完成方案文档输出（包含硬件设计与软件设计原理，文档模板由组委会提供）。若参赛队没有按规定完成方案文档的提交，将不能参与后续的比赛环节。

自带焊接工具和调试工具。有安全隐患的物品以及不允许带的物品不能带入创新实践环节现场，否则取消比赛资格。

8) 第三环节（现场考核）

现场抽签决定各参赛队比赛的赛位号。

参赛队将其作品与测试装置连接，完成现场考核。

比赛成绩是三个环节得分的总和。若出现参赛队成绩相同，则按现场考核部分的成绩先后排序，如得分相同，则按设计环节的成绩先后排序，如仍旧无法区分排序，则抽签决定。