MS001-B.02.001DD.1.0

MS-001

嵌入式软件详细设计说明书

编制/日期：

审核/日期：

批准/日期：

杭州三坛医疗科技有限公司

文档更改履历

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 版本号 | 发布/实施日期 | 更改内容概述 | 更改者 |
| V1.0 |  | 文件新编 |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**目录**

[1. 引言 1](#_Toc25169)

[1.1. 编写目的 1](#_Toc23885)

[1.2. 项目背景 1](#_Toc27217)

[1.3. 技术需求输入 1](#_Toc13262)

[1.4. 定义 1](#_Toc1646)

[1.5. 参考资料 1](#_Toc16186)

[2. 总体设计 2](#_Toc2305)

[2.1. 功能概述 2](#_Toc31894)

[2.2. 功能需求与实现 3](#_Toc26312)

[2.3. 软件结构 4](#_Toc29262)

[2.3.1. 总体框架 4](#_Toc26265)

[2.3.2. 代码目录结构 4](#_Toc9615)

[2.3.3. 库文件说明 6](#_Toc13270)

[2.3.4. 缩写定义 7](#_Toc2937)

[2.3.5. 变量类型定义 8](#_Toc4442)

[3. 主程序设计说明 8](#_Toc23753)

[3.1. 程序描述 8](#_Toc6391)

[3.2. 程序逻辑 9](#_Toc10220)

[4. 输入模块设计说明 9](#_Toc5055)

[4.1. 程序描述 9](#_Toc7327)

[4.2. 功能 10](#_Toc6569)

[4.3. 性能 10](#_Toc9598)

[4.4. 程序逻辑 10](#_Toc23380)

[5. 定时器模块设计说明 11](#_Toc18235)

[5.1. 程序描述 11](#_Toc20219)

[5.2. 功能 11](#_Toc14927)

[5.3. 性能 11](#_Toc459)

[5.4. 程序逻辑 11](#_Toc7005)

[6. 串口模块设计说明 12](#_Toc6469)

[6.1. 程序描述 12](#_Toc12203)

[6.2. 功能 12](#_Toc11341)

[6.3. 性能 13](#_Toc26199)

[6.4. 程序逻辑 13](#_Toc6678)

# 引言

## 编写目的

为了规范及保证MS-001项目工作合理有序的开展，经概要设计评审后进一步细化，分别对每一模块进行详细细化的解决方案、接口等方面的设计，明确描述所有输入输出参数、类型逻辑算法以及调用关系。作为开发人员和测试人员进一步编程和编写测试用例依据。

本项目详细设计说明书供项目编程及调试人员，并面向项目组全体成员。

## 项目背景

MS-001台车UR控制板集成了各按键、脚踏和指示灯信号输入、直流电机控制、RGB灯的指示、UPS控制板信号输出及与上位机的串口通讯等功能，对控制板编程实现上述功能，并结合产品应用场景，完善控制，提高产品应用便捷性，辅助手术导航设备进行精确操作。

## 技术需求输入

根据《MS-001嵌入式软件概要设计说明书》中功能设计，UR控制板集成了各按键、脚踏和指示灯信号输入、直流电机控制、RGB灯的指示、UPS控制板信号输出及与上位机的串口通讯等功能，对控制板编程实现上述功能，并结合产品应用场景，完善控制，提高产品应用便捷性，辅助手术导航设备进行精确操作。

## 定义

串口通信(Serial Communication):是指外设和单片机间，通过数据信号线、地线、控制线等，按位进行传输数据的一种通讯方式。这种通信方式使用的数据线少，在远距离通信中可以节约通信成本，但其传输速度比并行传输低。

PWM：脉冲宽度调制（Pulse Width Modulation，PWM）简称脉宽调制。

## 参考资料

《MS-001嵌入式软件概要设计说明书》

# 总体设计

## 功能概述

MS-001嵌入式控制板的软件系统包括按键和脚踏模块、机械臂上下电模块和主机上电反馈模块、串口通讯模块、RGB灯模块。

MS-001嵌入式控制板实现对机械臂上下电操作，在上电过程中电源按键指示灯以1S的周期闪烁，上电完成后电源按键指示灯常亮；电源按键结合上电反馈信号，判断是开机还是关机。机械臂电源按键关机过程比较短暂，所以按键指示灯直接熄灭，电源上下电操作需要给机械臂主机对应接口相应时间的电平，要求高电平时间为200ms-6000ms。

台车升和台车降按键实现对升降立柱直流电机的控制，按键点动，按下运动，松开暂停。

脚踏开关实现机械臂运动定位信号的控制，踩下脚踏发送对应信号，直到返回接收成功命令，暂停发送;松开脚踏，发送对应信号，直到返回接收成功命令，暂停发送。

串口模块实现数据的接收和发送，串口中断循环接收数据，完成一帧数据后，通过解析将命令传递给全局变量；RGB灯模块实现对三色灯控制，通过PWM脉冲调制实现颜色的切换，三角函数波形数组元素递增或递减循环赋给PWM通道比较值，实现呼吸灯操作。

UPS反馈信号通过判断UPS与机械臂控制箱的开关机状态，将状态信号输出至UPS控制板，UPS判断此信号是否有效，控制UPS开关机。

体位反馈模块激光控制板使用单节7号电池供电，通过开关按键控制激光发光亮度，激光光点作为标记点，标记病人是否发生移动。按键第一次按下时激光最大亮度开启，第二次按下时激光亮度降低，第三次按下时激光亮度再次降低，第四次按下时激光关闭，体位反馈模块激光控制板电源关断。

## 功能需求与实现

表2.2－1 功能模块说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **技术需求说明书-导引台车功能需求** | | |
| **输入需**  **求序号** | **功能需求** | **软件功能实现方式** |
| 130010 | 开关按钮：台车升、降按钮各1个（包含指示灯） | 设计控制板，实现台车升降和灯光显示，见2.1 |
| 130013 | 开关按钮：机械臂上电开关按钮1个（包含指示灯） | 设计控制板，实现机械臂上电，和对应按键指示灯，见2.1 |
| 130019 | 台车组成：机械臂及控制系统 | 设计控制板，与机械臂和机械臂控制箱协同工作，见2.1 |
| 130021 | 台车组成：UPS | 设计UPS控制板，与UPS协同工作，见2.1 |
| 130023 | 台车组成：升降立柱 | 设计控制板，控制升降立柱工作，见2.1 |
| **技术需求说明书-体位反馈功能需求** | | |
| **输入需**  **求序号** | **功能需求** | **硬件实现方式** |
| 140004 | 供电方式：独立电池供电 | 设计体位反馈模块电路为电池供电方式，见2.1 |
| 140005 | 开关按钮：开关功能 | 设计体位反馈模块电路具有一个开关按键，见2.1 |
| 140006 | 开关按钮：激光亮度调节功能 | 设计体位反馈模块电路开关按键具有激光亮度调节功能，见2.1 |
| 140008 | 设备组成：纽扣电池/7号电池 | 设计体位反馈模块电路为7号电池供电方式，见2.1 |

## 软件结构

### 总体框架

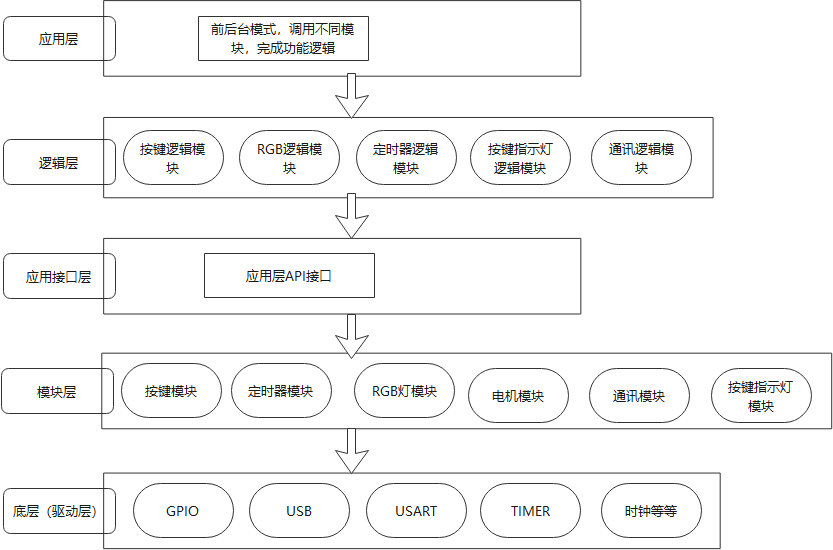


图2.2.1-1 系统框架

### 代码目录结构

工程文件目录结构  
1、USER–用户文件

Main.c主要用来编写main函数

stm32f10x\_it.c 主要用来定义部分中断服务函数

system\_stm32f10x.c 主要用来定义SystemInit等时钟初始化函数  
2、HARDWARE–用户外部硬件相关的驱动函数,每个.c文件对应一个.h头文件

表2.2.2-1 驱动文件

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| KEY文件 | key.c | 主要包括按键状态扫描函数和按键检测函数 |
| key.h | 定义变量读取按键状态、定义按键标志位及定义按键相关的函数 |
| RGB文件 | rgb.c | TIM4 PWM部分初始化 ，PWM输出初始化 |
| rgb.h | 定义TIMER4 PWM相关的函数 |
| TC文件 | tc.c | 初始化台车驱动控制函数 |
| tc.h | 定义台车控制相关的函数 |
| TIMER文件 | timer.c | 定于呼吸灯PWM三角函数波形及相关标志位，全局变量，TIMER3定时器初始化，定时器中断函数中断内容编写 |
| timer.h | 宏定义标志位，定义定时器初始化函数 |
| UR文件 | ur.c | 初始化UR控制相关GPIO，编写UR电源LED的函数 |
| ur.h | 定义UR控制相关函数 |

3、SYSTEM–工程中常用到的代码

包含延时函数，IO口位操作以及串口相关函数  
4、CORE–固件库核心文件和启动文件，一般不做修改

包含固件库核心文件和启动文件  
5、FWLIB–ST官方提供的外设固件库源文件和头文件

包含ST官方提供的外设固件库源文件和头文件

### 库文件说明

表2.2.3-1 stm32库文件

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| system\_stm32f10x.h  system\_stm32f10x.c | 微控制器专用系统文件 | 函数SystemInit，用来初始化微控制器  函数Sysem\_ExtMemCtl，用来配置外部存储器控制器。它位于文件startup\_stm32f10x\_xx.s /.c，在跳转到main前调用  SystemFrequncy，该值代表系统时钟频率 |
| stm32f10x.h | 微控制器专用头文件 | 这个文件包含了STM32F10x全系列所有外设寄存器的定义（寄存器的基地址和布局）、位定义、中断向量表、存储空间的地址映射等 |
| startup\_stm32f10x\_Xd.s | 编译器启动代码 | 微控制器专用的中断处理程序列表(与头文件一致)  弱定义(Weak)的中断处理程序默认函数(可以被用户代码覆盖) 该文件是与编译器相关的 |
| stm32f10x\_conf.h | 固件库配置文件 | 通过更改包含的外设头文件来选择固件库所使用的外设，在新建程序和进行功能变更之前应当首先修改对应的配置 |
| stm32f10x\_it.h  stm32f10x\_it.c | 外设中断函数文件 | 用户可以相应的加入自己的中断程序的代码，对于指向同一个中断向量的多个不同中断请求，用户可以通过判断外设的中断标志位来确定准确的中断源，执行相应的中断服务函数 |
| stm32f10x\_ppp.h  stm32f10x\_ppp.c | 外设驱动函数文件 | 包括了相关外设的初始化配置和部分功能应用函数，这部分是进行编程功能实现的重要组成部分。 |

### 缩写定义

标准外设库中的主要外设均采用了缩写的形式，通过这些缩写可以很容易的辨认对应的外设。

表2.2.4-1 外设缩写定义

|  |  |
| --- | --- |
| 缩写 | 外设/单元 |
| ADC | 模数转换器 |
| BKP | 备份寄存器 |
| CAN | 控制器局域网模块 |
| CRC | CRC计算单元 |
| DAC | 数模转换器 |
| DBGMCU | 调试支持 |
| DMA | 直接内存存取控制器 |
| EXTI | 外部中断事件控制器 |
| FLASH | 闪存存储器 |
| FSMC | 灵活的静态存储器控制器 |
| GPIO | 通用输入输出 |
| I2C | I2C接口 |
| IWDG | 独立看门狗 |
| PWR | 电源/功耗控制 |
| RCC | 复位与时钟控制器 |
| RTC | 实时时钟 |
| SDIO | SDIO接口 |
| SPI | 串行外设接口 |
| TIM | 定时器 |
| USART | 通用同步/异步收发器 |
| WWDG | 窗口看门狗 |

### 变量类型定义

表2.2.5-1 变量类型定义

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| u32 | uint32\_t | 无符号32位数据 |
| u16 | uint16\_t | 无符号16位数据 |
| u8 | uint8\_t | 无符号8位数据 |

stm32f10x.h文件中还包含了常用的布尔形变量定义，如：

1 typedef enum {RESET = 0, SET = !RESET} FlagStatus, ITStatus;

2 typedef enum {DISABLE = 0, ENABLE = !DISABLE} FunctionalState;

3 #define IS\_FUNCTIONAL\_STATE(STATE) (((STATE) == DISABLE) || ((STATE) == ENABLE))

4 typedef enum {ERROR = 0, SUCCESS = !ERROR} ErrorStatus;

# 主程序设计说明

## 程序描述

软件功能主要完成以下三类信号处理：

1. 解析串口通讯数据包，并将对应机械臂运动状态标志位置位；

2. UR&PC反馈信号采集、判断并将标志位置位；

3. 按键事件及台车升降状态清除事件。

## 程序逻辑

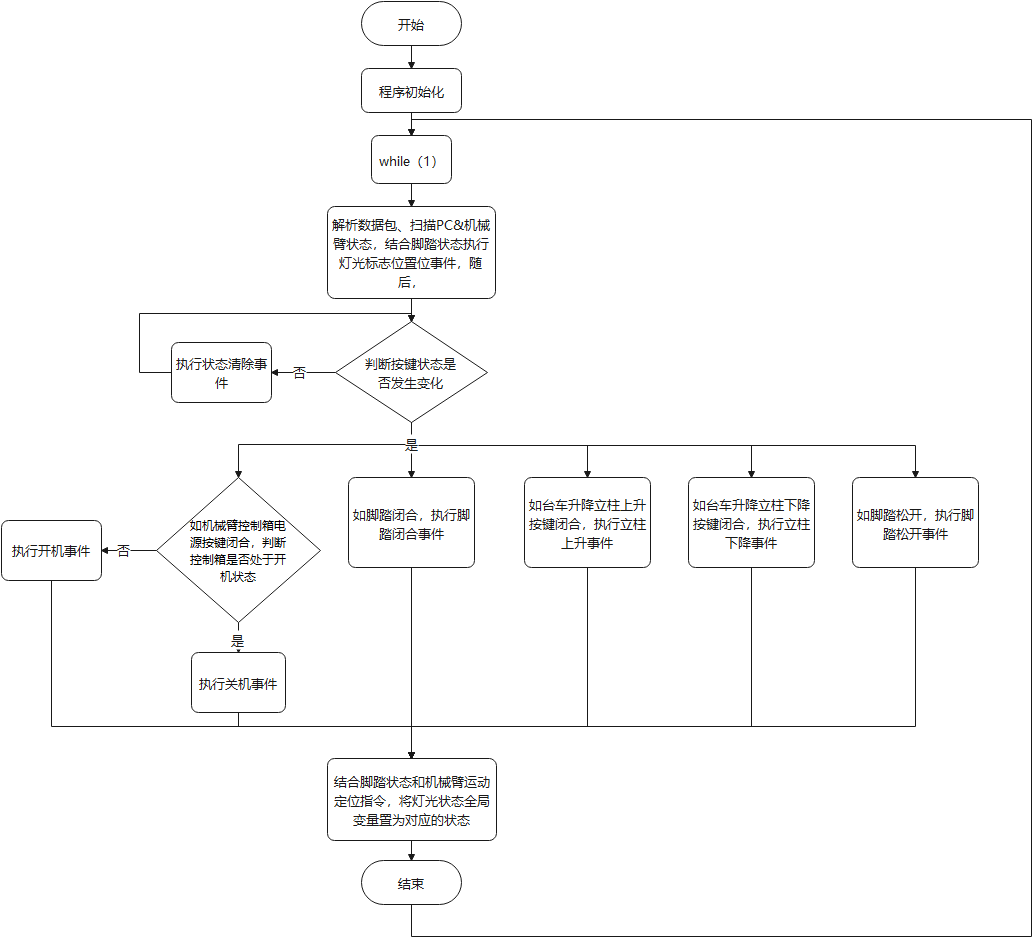
程序主循环中首先执行数据包解析，每当串口接收到一个完整的数据包时，即执行数据包解析，并将相应的状态位置位置为对应值。随后执行PC状态和机械臂状态的扫描判断，将主控板反馈信号标志位置位对应值；最后执行按键扫描事件，判断按键值，执行对应按键的事件。按键事件包括：机械臂主机开关机事件、脚踏闭合或松开置位事件、升降立柱升降事件以及状态清除事件等。

图3.2-1 主程序流程

# 输入模块设计说明

## 程序描述

该模块是用于采集人机交互按键信息，并将信息转化为相应的标志位，通过标志位表征按键信息。

## 功能

采集按键信息，将信息转化为相应的标志位，通过标志位表征按键信息。此控制板硬件包括4个按键，分别为：机械臂开关机按键、台车升按键、台车降按键、脚踏。

## 性能

程序具有软件消抖的功能，每5ms采集一次按键信息。

## 程序逻辑

实现过程为：通过定时器中断扫描按键状态，采用基本定时器通过分频得到5ms采样周期。每5ms定时器中断扫描一次按键的状态，高电平为1，低电平为0，将每次采样到的结果按数组低位至高位分别存至16bit的数组变量。扫描16次完成后，对数组变量进行“与”操作，即可判断按键状态并消除抖动。主控板按键程序框图。

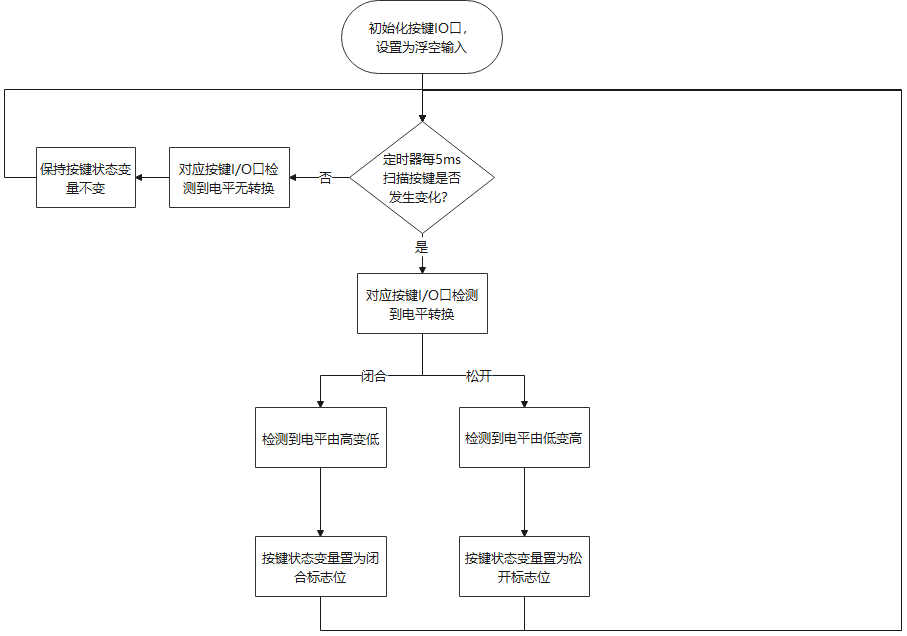


图4.4-1 输出检测程序流程

# 定时器模块设计说明

## 程序描述

初始化定时器，并启用定时器中断，定时器模块要求每5ms产生一次定时器中断，用于按键扫描、RGB灯显示、UR控制箱开关机操作、按键指示灯显示、脚踏状态指令发送、PC&UR状态反馈。

## 功能

用于产生5ms的中断，中断服务函数通过计数产生50ms以及500ms的计时，完成RGB呼吸灯和机械臂电源按键的指示灯的翻转。

## 性能

RGB呼吸灯变化缓慢，周期为3400ms,按键指示灯周期为1s。

## 程序逻辑

定时器中断程序中执行按键扫描、RGB显示、机械臂按键指示灯显示、机械臂开关机信号控制、UR&PC状态信号等后台事件。定时器周期设置为5ms，每5ms产生1次定时器中断，按键被扫描一次，相应的计时变量加累加1，并判断变量这些是否满足目标值。当满足目标值时，变量清零，并执行对应的事件。其中包括RGB灯状态切换、按键指示灯状态切换、脚踏信号发送等事件。

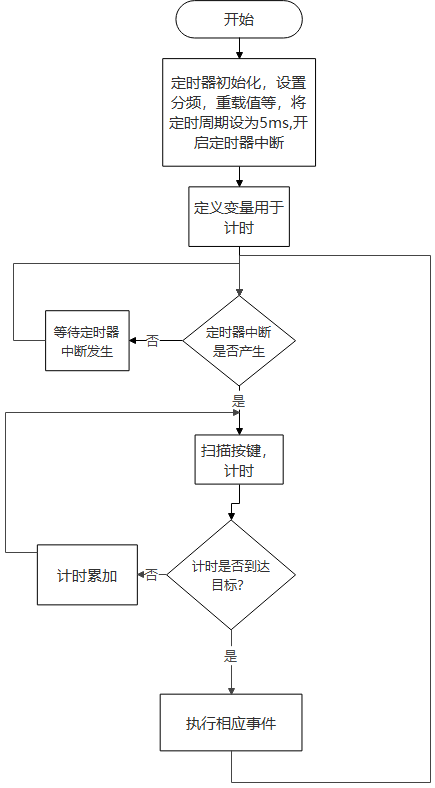


图5.4-1 定时器工作流程

# 串口模块设计说明

## 程序描述

串口模块用于控制板与上位机的通讯。

## 功能

1. 发送脚踏闭合和松开信号给上位机；

2. 接收上位机发送的机械臂运动定位状态给控制板；

## 性能

具有一定的传输稳定性，即含有通讯协议，有发送和接收有响应信号。

## 程序逻辑

接收数据的处理为：当主控板串口接收到上位机数据时，主控板程序进入串口中断，接收上位机的数据；当串口连续接收6个字节后，主程序进行对接收到的数据包进行解析，解析过程为：首先判断数据帧头是否正确，再判断数据长度、校验和等数据是否正确，最后判断类型码的值，此值即表示对应机械臂的状态。如接收的的数据出错，则向上位机反馈接收数据失败的指令。

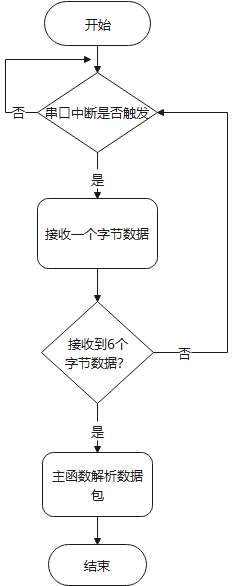


图6.4-1 串口功能逻辑

串口发送数据的过程为：当脚踏开关闭合时，主控板接收到脚踏下降沿信号，主程序循环判断脚踏状态并将状态位置位，定时器中断每100ms遍历一次脚踏状态位，并通过串口发送脚踏状态指令至上位机。当上位机返回接收数据成功指令后，主控板停止发送脚踏数指令。同理，当脚踏松开时，主控板接收到脚踏上升沿信号，主程序循环判断脚踏状态并将状态位置位，定时器中断每100ms遍历一次脚踏状态位，并通过串口发送脚踏状态指令至上位机。当上位机返回接收数据成功指令后，主控板停止发送脚踏指令。

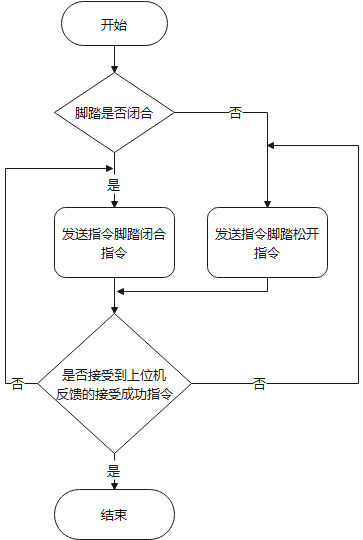


图6.4-2 脚踏部分功能逻辑