

工程项目实训总体设计

项目课题：基于 stm32 的体感遥控小车

学生姓名：石国强

指导老师：文笃石

目录

第一章 项目概述	4
1.1 项目简介	4
1.2 项目背景	4
1.3 应用前景	5
第二章 系统方案	6
2.1 手带设备架构	6
2.2 小车架构	7
2.3 软件架构	7
第三章 系统硬件设计	8
3.1 手带设备	8
3.1.1 STM32F103C8T6 最小系统板	8
3.1.2 MPU6050 模块	8
3.1.3 LM2596S 降压模块	9
3.1.4 HC-05 蓝牙模块	10
3.2 智能小车	10
3.2.1 STM32F103RCT6 开发板	10
3.2.2 TB6612FNG 模块	11
3.2.3 8×8 点阵 LED	12
第四章 系统软件设计	13
4.1 MPU6050 姿态解算	13
4.1.1 I2C 通信协议	13
4.1.2 MPU6050 原始数据读取	13
4.1.3 DMP 姿态解算	14
4.2 姿态数据帧封装及解析	15
4.2.1 HC-05 通信	15
4.2.2 姿态数据封装	16
4.2.3 姿态数据解析	16
4.3 智能小车控制	16
4.3.1 8×8 点阵 LED 图案显示	17

4.3.2 智能小车行走控制	17
第五章 系统测试	18
5.1 手带设备姿态数据获取测试	18
5.2 手势控制小车测试	19
参考文献	21

第一章 项目概述

1.1 项目简介

手势识别小车是一款基于 STM32 开发的智能设备，集成了嵌入式系统和智能手带设备的可靠、高效、便捷的优势。项目由两大部分组成。智能小车和手带设备，可以使用手带设备转角的变化控制智能小车的直行与转向。

1.2 项目背景

当今社会，嵌入式产品已经渗透到我们的生活各个领域，几乎很难找到哪个领域没有它足迹。如智能仪表、实时工控、通讯设备、导航系统、家用电器等，这些都是较为常见的嵌入式系统应用。

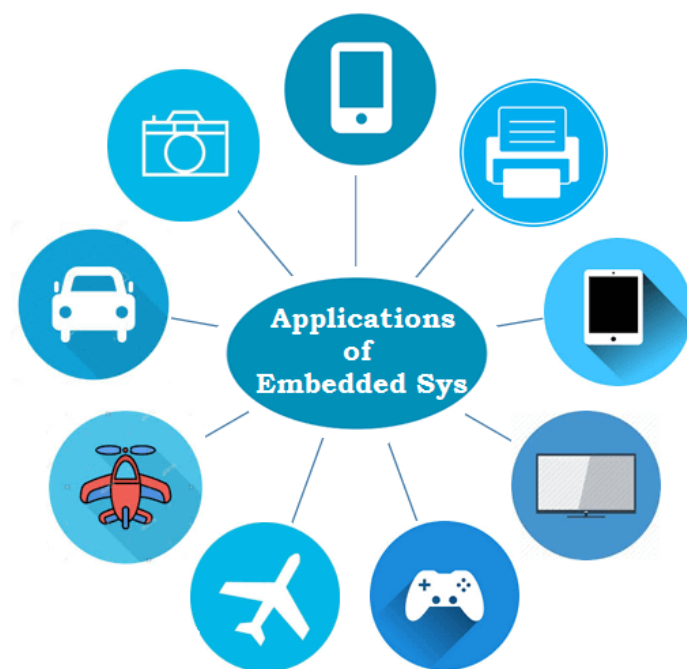


图 1-1 嵌入式系统应用

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积和功耗有严格要求的专用计算机系统。相比通用计算机专门化，具有针对性的设计、合理的运算速度、高可靠性和较低的成本。因此嵌入式的学习、开发与应用将造就一批计算机应用与智能化控制的工程师和专家。因此为了跟随时代发展，我们有必要做的与时俱进，

来自国外权威机构 IDC 的数据显示，2012-2017 年全球可穿戴设备的出货量不断增加，2015 年以前出货量年均增速均在 150%以上，实现较大规模的增加。

表 1-2 智能可穿戴设备统计表



2015 年以后随着市场相对成熟的发展，全球可穿戴设备的出货量增速下降，但至 2017 年其出货量仍为 11540 万部，较上年同期同比增加 12.70%，2018 年截至至第二季度，全球可穿戴设备的出货量为 8040 万部，在可穿戴设备产品认可度不断提升的影响下，预计全年全球设备的出货量约增加至 12.26 亿部，较 2017 年同比增加 6.24%。

1.3 应用前景

随着 5G 时代的到来，嵌入式、物联网在人们日常中的应用会更加广泛。并且随着智能穿戴设备普及，已逐渐开始向社会服务、医疗、娱乐等多个领域发展。本项目设计的手势识别小车可以加深对嵌入式系统的理解，为后续项目实践奠定基础。

第二章 系统方案

本项目使用一块手带设备控制小车的行走，因此该项目需要两块主控，一个用于获取手势数据，另一个则用于控制小车。对于手带设备要求必须小巧、稳定，因此采用 STM32F103C8T6 作为主控，获取手势数据并进行相应处理。小车的功能较多，从而需要相对多的引脚，本次采用 STM32F103RCT6 作为小车的主控，控制小车行走以及人机交互。

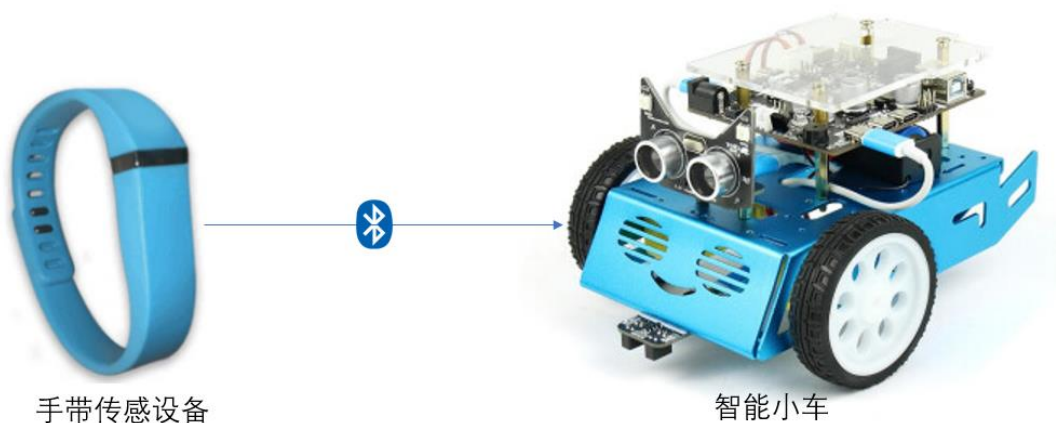


图 2-1 系统总体设计

2.1 手带设备架构

手带设备主要由 STM32F103CT86 最小系统板、MPU6050 三维角度加速度陀螺仪传感器、HC-05 蓝牙模块、降压模块组成。最小系统板可以读取 MPU6050 经 DMP 姿态解算后的欧拉角数据，将其以数据帧的形式通过 HC-05 发送给小车。

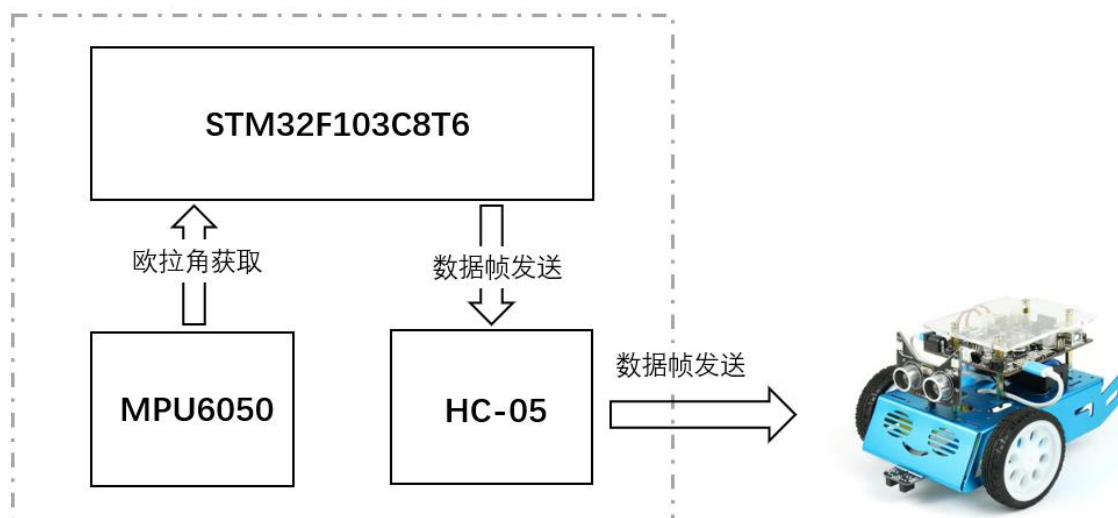


图 2-2 手带设备架构图

2.2 小车架构

STM32 小车主要由一个 STM32F103RCT6 作为主控，并使用两个直流电机作为动力。人机交互使用一块 8×8 点阵 LED 模块，用于显示当前小车的行驶状态。小车接收到手带设备发送的数据帧后进行解析，得到欧拉角从而控制小车的行驶。

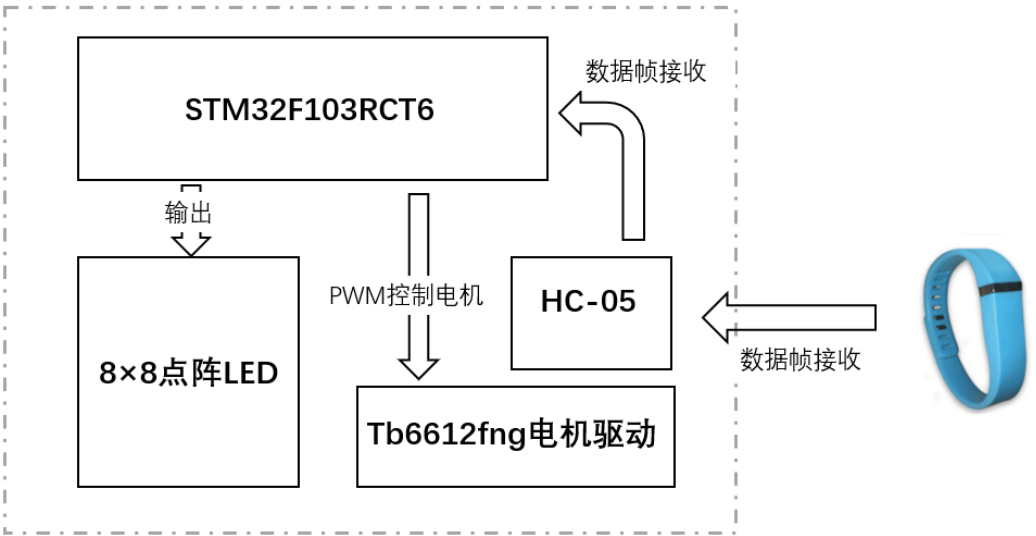


图 2-3 小车架构图

2.3 软件架构

该项目的软件架构由手带设备和单片机小车两部分组成。手带设备则主要使用 MPU6050 获取数据并进行姿态解算。单片机小车则需要完成小车的行驶、人机交互。该系统软件架构如图 2-4 所示。

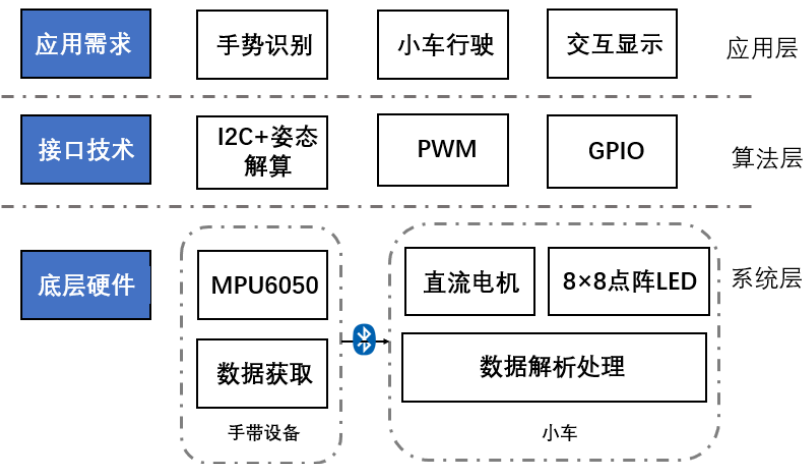


图 2-4 系统软件架构

MPU-60X0 将 3 轴陀螺仪，3 轴加速度计和数字运动处理器（DMP）组合在一起。通过 I2C 总线可以接受外部 3 轴罗盘的输入，提供 9 轴输出。MPU-60X0 具有三个用于数字化陀螺仪输出的 16 位 ADC 转换器和三个用于数字化加速度计输出的 16 位 ADC 转换器。

在本项目中该模块是手带设备的核心，STM32 最小系统板获取 MPU6050 经过 DMP 姿态解算后的欧拉角作为小车行驶的依据。

表 3-1 MPU6050 参数

指标	参数
陀螺仪	$\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000^{\circ} / s$
加速度	$\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16g$

3.1.3 LM2596S 降压模块

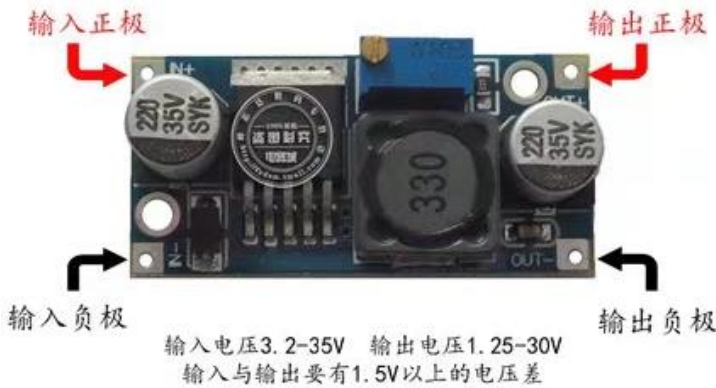


图 3-3 LM2596S 降压模块

电源模块采用 7.4V 可充电锂电池作为主要供电，开发板电压需要在 5V 以下，所以需要使用 LM2596S 模块进行降压处理.，该模块顺时针调节升压，逆时针调节降压。

表 3-2 LM2596S 降压模块参数

指标	参数
输入电压	3.2V~46V
输出电压	1.25V~35V
输出电流	3A（最大）
转换效率	92%（最高）
输出纹波	<30mV
开关频率	65KHz
工作温度	-45℃~+85℃
尺寸大小	43mm*21mm*14mm

由于开发板支持 5V 电压输入，需要将电压降至不大于 5V。输入电压可以为 3.2 至 35V，输出电压 1.25 至 30V，注意输入电压需高于输出电压 1.5V，不可用于升压。顺时针调节升压，逆时针调节降压。

3.1.4 HC-05 蓝牙模块

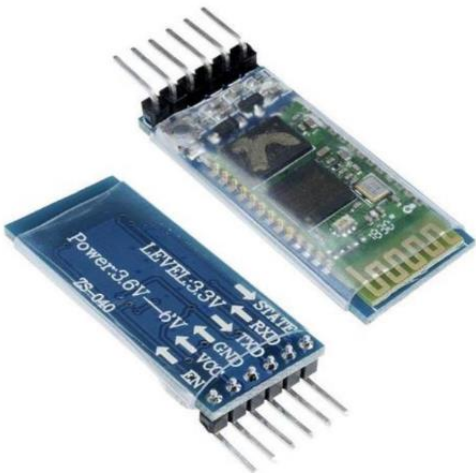


图 3-4 HC-05 蓝牙模块

HC-05 蓝牙模块是主从一体的蓝牙串口模块，通常当蓝牙设备配对连接成功后，我们可忽略蓝牙内部的通信协议，直接把蓝牙当做串口使用。建立连接后，两个设备共同使用一个串口，一个设备发送数据到通道中，另一个设备便可以接受通道中的数据。

该蓝牙模块具有两种工作模式：命令响应工作模式和自动连接工作模式，在自动连接工作模式下模块又可分为主（Master）、从（Slave）和回环（Loopback）三种工作角色。当模块处于自动连接工作模式时，将自动根据事先设定的方式连接的数据传输；当模块处于命令响应工作模式时能执行下述所有 AT 命令，用户可向模块发送各种 AT 指令，为模块设定控制参数或发布控制命令。通过控制模块外部按键，可以实现模块工作状态的动态转换。其中 LED 的闪烁状态代表这蓝牙模块当前工作状态。

表 3-3 HC-05 蓝牙模块指示灯

工作状态	指示灯
自动连接模式	快速闪烁
命令响应模式	慢速闪烁
配对成功	每隔一段时间快闪两下

3.2 智能小车

3.2.1 STM32F103RCT6 开发板

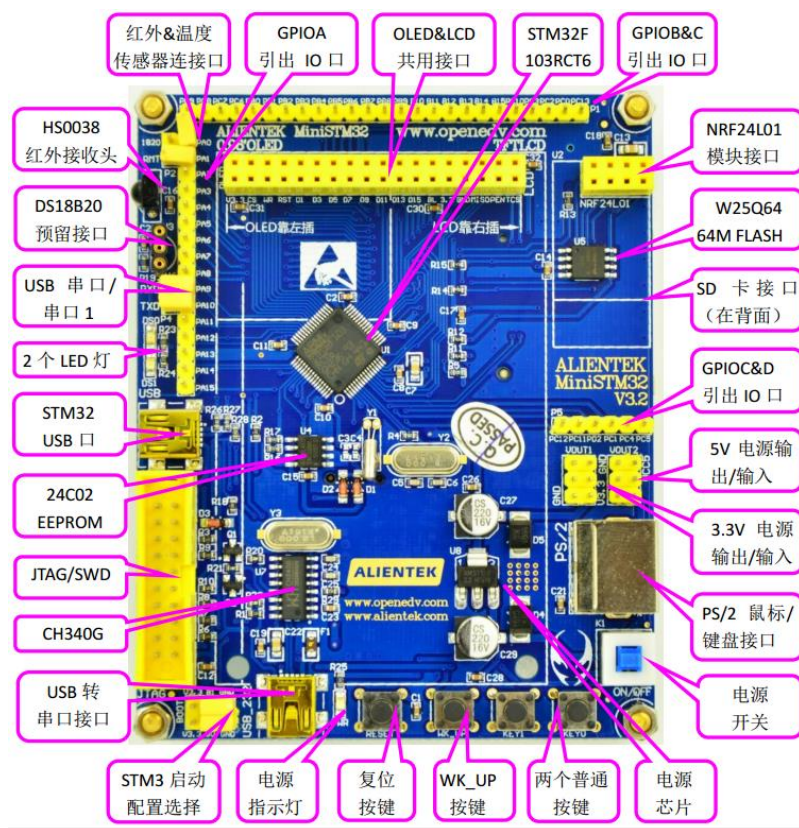


图 3-5 STM32F103RCT6 开发板

本次智能小车使用 ALIENTEK MiniSTM32 开发板作为主控板，主芯片为 STM32F103RCT6 (64) 引脚，芯片 FLASH:256K，芯片 SRAM:48K，板内软、硬件资源丰富、操作简单。从成本、复杂程度综合进行考量，使用该开发板制作智能小车是不错的选择。

3.2.2 TB6612FNG 模块



图 3-6 Tb6612fng 模块

TB6612FNG 是东芝半导体公司生产的一款直流电机驱动器，它具有大电流 MOSFET-H 桥结构，双通道电路输出，可同时驱动 2 个电机。TB6612FNG 每通道输

出高 1A 的连续驱动电流，启动峰值电流达 2A/3A(连续脉冲/单脉冲)。

4 种电机驱动模式：正转/反转/制动/停止。PWM 支持频率高达 100kHz，待机状态。片内低电压检测电路与热停机保护电路。

表 3-4 Tb6612fng 逻辑真值表

输入				输出		
IN1	IN2	PWM	STBY	O1	O2	模式状态
H	H	H/L	H	L	L	制动
L	H	H	H	L	H	反转
L	H	L	H	L	L	制动
H	L	H	H	H	L	正转
H	L	L	H	L	L	制动
L	L	H	H	OFF		停止
H/L	H/L	H/L	L	OFF		待机

3.2.3 8×8 点阵 LED



图 3-7 8×8 点阵 LED 模块

本次项目中智能小车部分将使用 8*8 点阵 LED 作为显示模块，根据小车的行驶状态会有相应的图案显示。使用的共阳点阵 LED 模块的原理如图 3-7 所示。

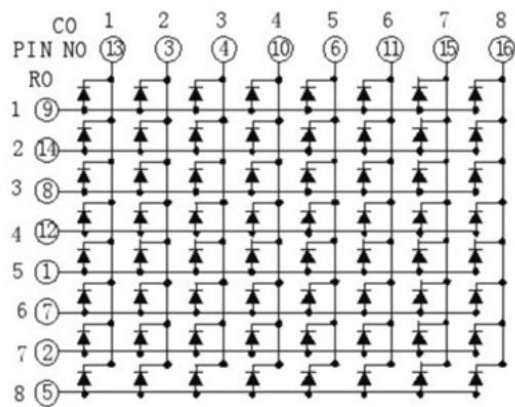


图 3-8 8×8 点阵 LED 原理图

第四章 系统软件设计

4.1 MPU6050 姿态解算

4.1.1 I2C 通信协议

IIC 即 Inter-Integrated Circuit(集成电路总线), 这种总线类型是由飞利浦半导体公司在八十年代初设计出来的, 主要是用来连接整体电路(ICS), IIC 是一种多向控制总线, 也就是说多个芯片可以连接到同一总线结构下, 同时每个芯片都可以作为实时数据传输的控制源。这种方式简化了信号传输总线接口。

IIC 最初为音频和视频设备开发, 如今主要在服务器管理中使用, 其中包括单个组件状态的通信。例如管理员可对各个组件进行查询, 以管理系统的配置或掌握组件的功能状态, 如电源和系统风扇。可随时监控内存、硬盘、网络、系统温度等多个参数, 增加了系统的安全性, 方便了管理。

IIC 的主要构成只有两个双向的信号线, 一个是数据线 SDA,一个是时钟线 SCL。MPU6050 与 MCU 通过 I2C 总线进行通信, 用软件模拟的方式实现 I2C 底层基本时序函数, 包括起始、停止信号的产生, 以及发送/接收单字节数据、检测/发送应答信号。

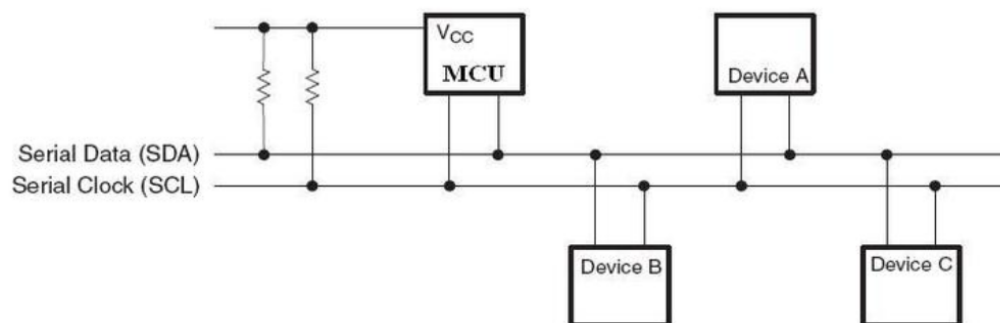


图 4-1 I2C 总线图

4.1.2 MPU6050 原始数据读取

使用 I2C 读取 MPU6050 原始数据时需要将 MPU6050 内部寄存器恢复默认值, 然后配置该模块的一些参数。根据 I2C 数据传输格式, 读取相关寄存器, 得到加速度传感器、角速度传感器和温度传感器的数据。



图 4-2 I2C 数据传输格式

以读取 MPU6050 中某一寄存器为例，数据获取的流程图如图 4-3 所示。

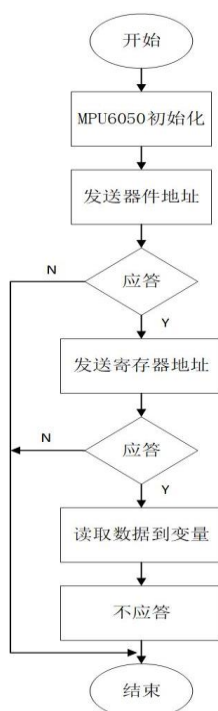


图 4-3 MPU6050 数据读取

4.1.3 DMP 姿态解算

读取的 MPU6050 原始数据并不能直接使用，我们需要的姿态数据即欧拉角：航向角（yaw）、横滚角（roll）、和俯仰角（pitch）。要得到欧拉角数据，需利用我们得到的原始数据，进行姿态融合解算，直接计算是比较复杂的，但 MPU6050 自带了数字运动处理器 DMP，并且，InvenSense 提供了一个 MPU6050 的嵌入式运动驱动库，结合 MPU6050 的 DMP，可以将得到的原始数据，直接转换成四元数输出，而得到四元数之后，就可以很方便的计算出欧拉角，从而得到 yaw、roll 和 pitch。

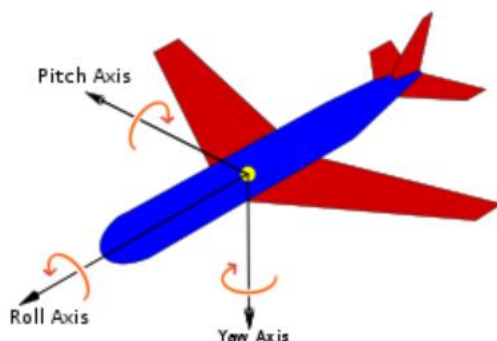


图 4-4 欧拉角

通过 MPU6050 的 DMP 输出的四元数是 q30 格式的，也就是浮点数放大了 2 的 30 次方倍。在换算成欧拉角之前，必须先将其转换为浮点数，也就是除以 2 的 30 次方，然后再进行计算，计算公式为：

$$q0 = \text{quat}[0]/q30$$

$$q1 = \text{quat}[1]/q30$$

$$q2 = \text{quat}[2]/q30$$

$$q3 = \text{quat}[3]/q30$$

$$\text{pitch} = \text{asin}(-2 * q1 * q3 + 2 * q0 * q2) * 57.3$$

$$\text{roll} = \text{atan2}(2 * q2 * q3 + 2 * q0 * q1, -2 * q1 * q1 - 2 * q2 * q2 + 1) * 57.3$$

$$\text{yaw} = \text{atan2}(2 * (q1q2 + q0q3), q0q0 + q1q1 - q2q2 - q3q3) * 57.3$$

表 4-1 欧拉角参数

指标	参数
pitch	-90° ~ +90°
roll	-180° ~ +180°
yaw	-180° ~ +180°

4.2 姿态数据帧封装及解析

4.2.1 HC-05 通信

HC-05 蓝牙模块在接口技术上使用的是 USART 通信，因此我们只需要配置相应的 USART 即可正常的使用蓝牙模块。在本项目中我们自己制定了一个简单的数据传输协议，当两个数据接收的时间间隔大于 10ms 时则认为当前的一个数据款传输完毕。该协议中接收数据的流程如图 4-5 所示。

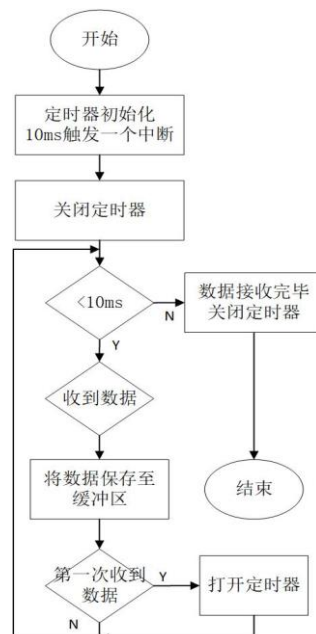


图 4-5 数据接收协议

4.2.2 姿态数据封装

该项目中手带设备需要将获取的手势姿态数据通过蓝牙发送给小车。姿态数据为欧拉角，则是由航向角（yaw）、横滚角（roll）、和俯仰角（pitch）组成。因此需要将这三个数据封装成一个数据帧发送给智能小车。我们规定一个数据帧的组成如图 4-6 所示。



图 4-6 姿态数据帧

一个姿态数据由以逗号分隔的三个浮点数组成，将该数据转化为一个字符串作为姿态数据帧。

4.2.3 姿态数据解析

智能小车接收姿态数据帧后，需要将该数据帧进行解析，把字符串分隔三个字符串，将其分别转化为浮点数保存到变量中。然后使用解析后的欧拉角来决定小车的行驶方式。该算法的流程如图 4-7 所示。

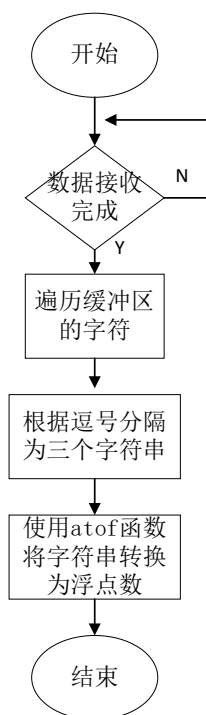


图 4-7 姿态数据解算

4.3 智能小车控制

4.3.1 8×8 点阵 LED 图案显示

本次项目设计中智能小车部分的人机交互模块使用 8×8 点阵 LED，该模块会显示小车的行驶状态。模块显示图案时需要不断的进行动态刷新，因此该功能需要使用中断的方式进行处理。

点阵模块显示的图案数据需要被存储到数组中，小车的行驶状态有：直行、后退、左转、右转、停止五种。因此点阵 LED 的花型至少需要五种，我们可以使用行数为五的二维数组存储花型。

4.3.2 智能小车行走控制

PWM 是脉冲宽度调制的简称，用于将一段信号编码为脉冲信号（一般是方波信号）。是在数字电路中达到模拟输出效果的一种手段。通过调节占空比的变化来调节信号、能量等的变化，占空比就是指在一个周期内，信号处于高电平的时间占据整个信号周期的百分比。例如一个周期内高电平 10V 持续二分之一的周期，则最终等效出的平均电压就为 5V。本次实验使用 PWM 作为输出控制电机转速。

小车收到姿态数据帧并解析完后可以获得手带设备的欧拉角，行驶方式则跟着手带设备角度的变化而变化。该程序流程如图 4-8 所示。

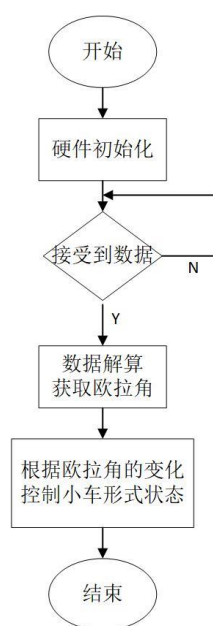


图 4-8 小车控制流程

第五章 系统测试

5.1 手带设备姿态数据获取测试

手带设备如图 5-1、5-2 所示。



图 5-1 手带设备正面图

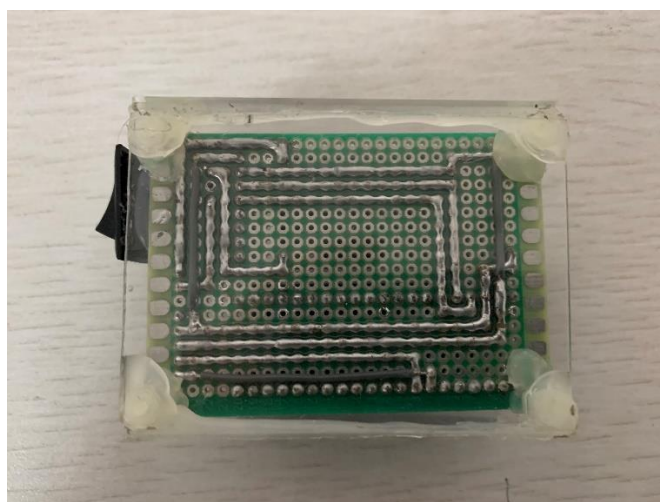


图 5-2 手带设备背面图

测试方案：佩戴并开启手带设备，等待 MPU6050 初始化完毕后，转动手腕并观察当前串口调试助手中的数值变化。尽可能幅度较大的转动以检查该设备在实际运用中的效果。

功能指标：可以正确的显示手带设备转动时的欧拉角数据。

结果分析：测试的过程中发现，有概率发生数据传送失误，明显可以看出在转动手腕时，部分数据变化幅度较大，因此可以使用软件滤波解决该问题。

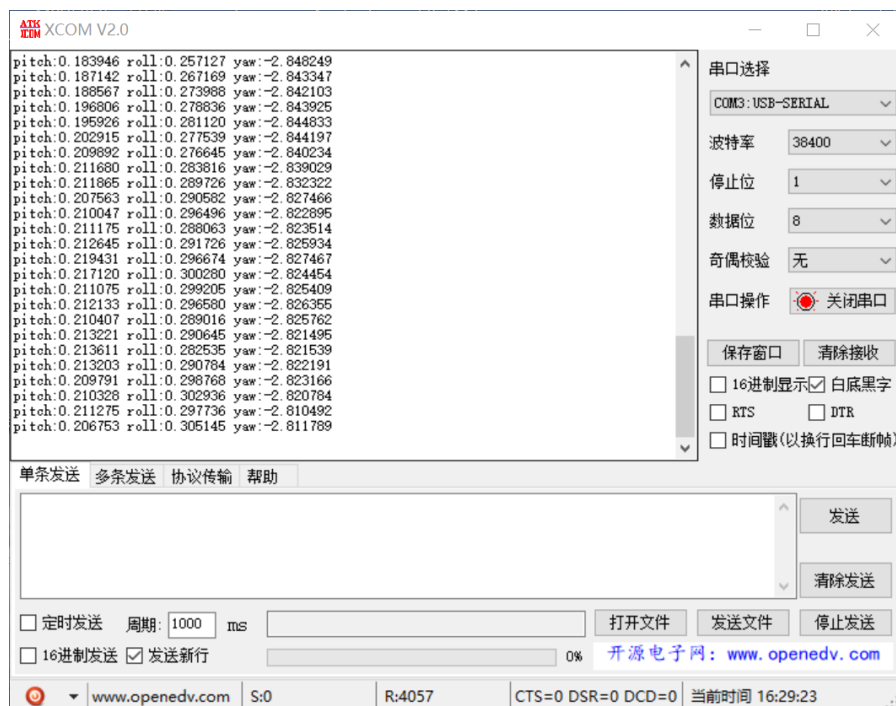


图 5-3 手带设备欧拉角获取

5.2 手势控制小车测试

测试方案：佩戴并打开手带设备、智能小车，通过转动手腕观察小车是否按照预期行驶、以及人机交互显示模块是否可以正常显示。

功能指标：小车可以正确的根据手带设备的转动行走。

结果分析：由于使用蓝牙传输的过程中会有部分数据传送失败，因此需要将错误数据全部去除，从而到时手带设备与小车直接的数据传输有 70ms 左右的延迟。

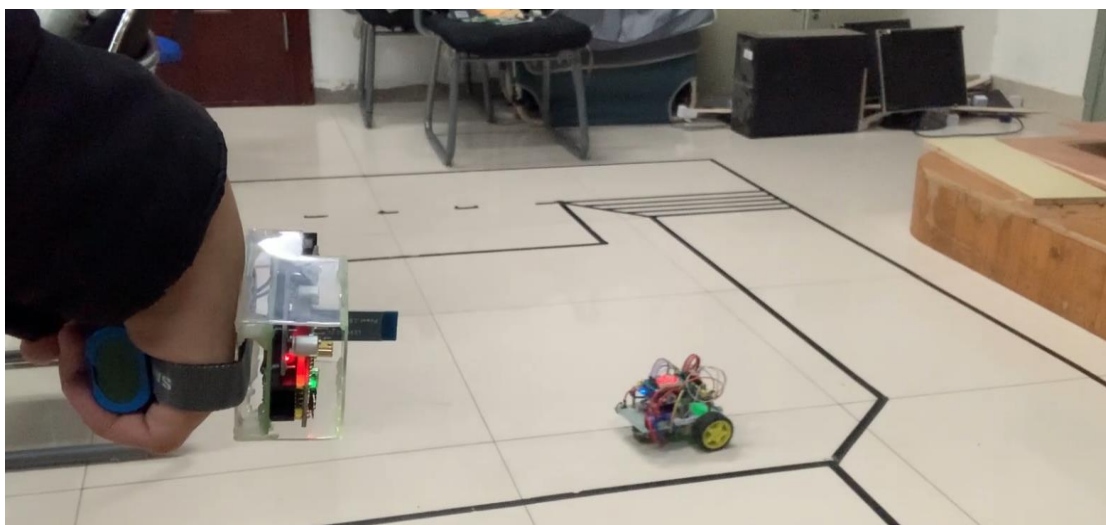


图 5-4 手势控制小车测试

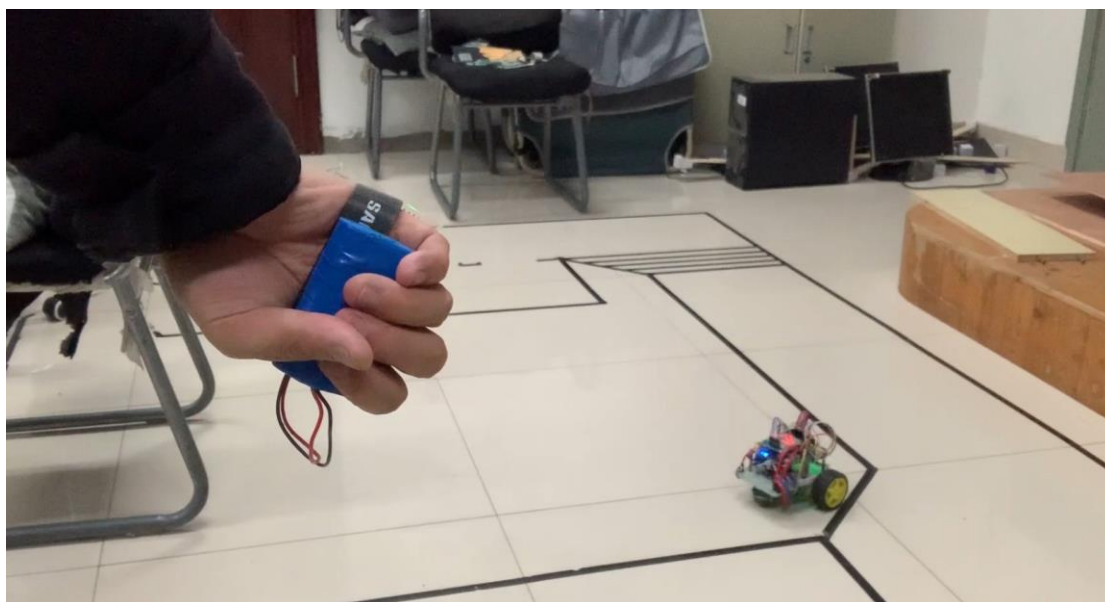


图 5-5 手势控制小车测试

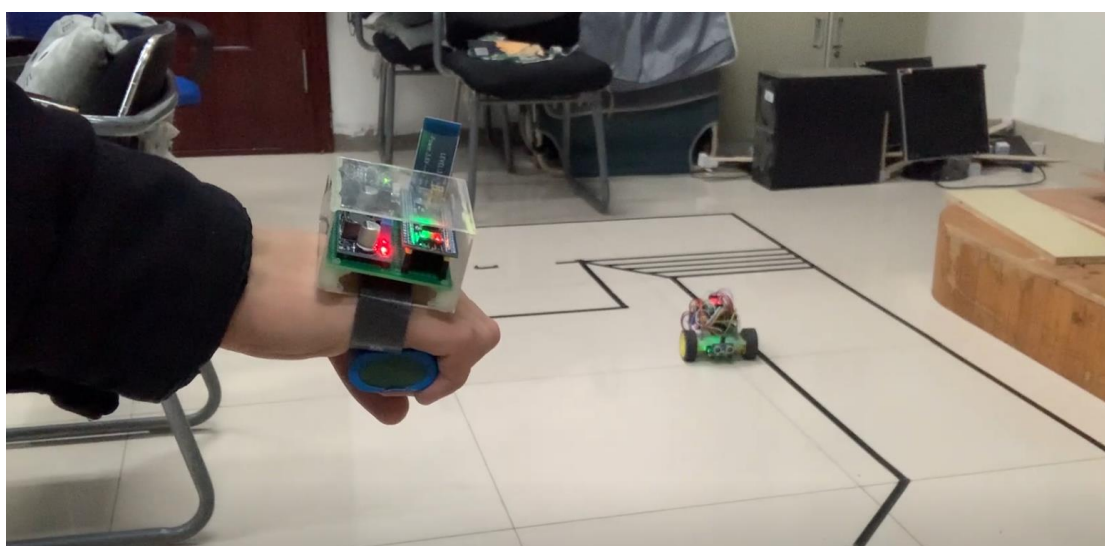


图 5-6 手势控制小车测试

参考文献

- [1] STM32 不完全手册_寄存器版本_V3.1
- [2] STM32 中文参考手册_V10