

本章的主要内容包括智能平衡移动机器人平台统一硬件接口电路的设计,关键的主控板、电源板、驱动板及其他传感器及拓展模块电路的设计。



视频讲解

3.1 硬件电路接口设计

为了使智能平衡移动机器人达到更好的平衡控制效果,机器人的本体设计更为轻便、集中。机器人的硬件电路也进行集中化设计,整个机器人本体使用一块控制底板 Forest S1,使其功能外设都能通过这块控制底板引出,这样大大提升了整车的集成度和控制的灵活性。移动机器人控制底板 Forest S1 的原理图与安装示意图分别如图 3.1 和图 3.2 所示。

J1					
5V	1	5V	3V3	30	3V3
GND	2	GND	GND	29	GND
PB6	3	PA12	PA12	28	PA12
PB7	4	PA11	PA11	27	PA11
PB8	5	PA8	PA8	26	PA8
PB9	6	PB15	PB15	25	PB15
PC13	7	PB14	PB14	24	PB14
PC14	8	PB13	PB13	23	PB13
PC15	9	PB12	PB12	22	PB12
PA0	10	PB11	PB11	21	PB11
PA1	11	PB10	PB10	20	PB10
PA2	12	PB1	PB1	19	PB1
PA3	13	PB0	PB0	18	PB0
GND	14	PA7	PA7	17	PA7
3V3	15	PA6	PA6	16	PA6

图 3.1 Forest S1 原理图



图 3.2 Forest S1 安装示意图

硬件电路主要模块包括:主控制器电路(包含了仿真电路)负责运行控制程序以及实现控制信号的输出与外部电平信号的采集,电源管理电路将锂电池的电压转换到主芯片、驱动芯片及其他传感器合适的工作电压,电动机驱动电路驱动电动机运行,传感器电路用于自身姿态和周围环境信息的采集以及其他拓展接口电路。

3.2 主控制板电路

主控制器主要包括仿真电路与主控芯片电路,使得主控制板在脱离其他模块的时候也能够独立进行仿真与程序的运行,所有需要的功能引脚通过 Forest S1 主控板的引脚引出,主控制板的独立设计使得移动机器人的元器件集成度更高,便于机器人移动时的平衡控制,其主控制板电路结构如图 3.3 所示。

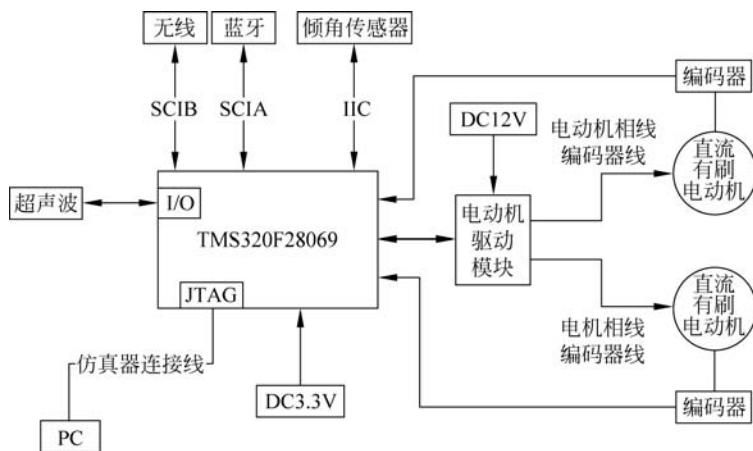


图 3.3 主控制板电路结构

通常在实时数字信号处理中,高层处理算法的特点是所处理的数据量与低层算法相比数据量少,但算法结构复杂,可以使用运算速度快、寻址方式灵活、通信机制强大的 DSP 芯片来实现。由于智能平衡式机器人本身结构上具有的不稳定性,要求姿态检测与相关控制量的计算能够达到一定的频率来实现更稳定的控制,为了实现更好的控制效率,控制器采用 TI C2000 系列 DSP 控制芯片 TMS320F28069 数字信号处理器,作为一种高效率的 32 位浮点 CPU,其特有的 eQEP 功能即正交解码单元使得读取编码器信号变得简单,使得电动机的速度与位置信号能够被准确采集,其余外设功能丰富,具体特性如下所示。

(1) 内核。

- 高效率 32 位浮点 CPU(TMS320C28x)。
- 主频 90MHz(11.11ns 周期时间)。
- 哈佛(Harvard)总线架构。
- 快速中断响应及处理。
- 高编码效率(采用 C/ C++ 语言和汇编语言)。

(2) 运算。

- 浮点单元,具有本地单精度浮点运行功能。
- 可编程控制律加速器(CLA)。

- 32 位浮点数学加速器。
 - 对 C28x 指令集进行了扩展以支持复数乘法及循环冗余校验(CRC)。
- (3) 存储。
- 嵌入式内存。
 - 高达 256KB 内存。
 - 容量高达 100KB 的 RAM。
- (4) 低功耗。
- 仅需单电源 3.3V 供电,无电源上电顺序要求。
 - 低功耗操作模式。
- (5) 时钟。
- 无须外部晶振,内部集成了两个独立的振荡器,每个振荡器频率为 10MHz。
 - 单片晶体振荡器/外部时钟输入。
 - 支持动态 PLL 比率改变。
 - 看门狗定时器模块。
- (6) 增强的控制外设。
- 可支持所有外设中断的外设中断扩展(PIE)模块。
 - 3 个 32 位 CPU 定时器。
 - 多达 8 个增强型脉宽调制器(ePWM)模块。
 - 总共 16 个 PWM 通道[其中有 8 路能够支持高分辨率 PWM(HRPWM)通道]。
 - 每个模块中独立的 16 位定时器。
 - 3 个输入捕获(eCAP)模块。
 - 2 个正交编码器(eQEP)模块。
 - 16 通道 12 位 ADC,双通道采样以及保持采样率高达 3MSPS。
 - 如果选择内部 3.3V 参考源,输入电压为 0~3.3V。
- (7) 串行接口外设。
- 多达 2 个串行通信接口(SCI)模块。
 - 两个串行外设接口(SPI) 模块。
 - 一根内置集成电路(IIC)总线。

主控制电路首先将 USB 口的 5V 电压通过 TLV1117LV33 芯片转换到 3.3V 为主控 TMS320F28069 芯片以及 USB 转串口芯片 FT2232H 供电,仿真电路与主控电路通过多通道的数字隔离芯片 ISO7240、ISO7231 与主控电路进行电磁隔离,保证主控电路的稳定运行;其中 93LC56BT-IOT 为 2KB 的 Microwire 兼容串行的 EEPROM,用于存储烧写的仿真器固件。仿真电路如图 3.4 所示。

仿真电路采用的是 XDS100V2 仿真器,从名称中可以反映出版本,对 TI 全系列芯片兼容。通过 14 引脚的接口进行仿真调试,支持 TI 公司的官方编译器 CCS 系列 V6 及以上版本,兼容多种 PC 操作系统以及 MAC 系统。其特性有:支持 USB 2.0 高速接口,支持多种

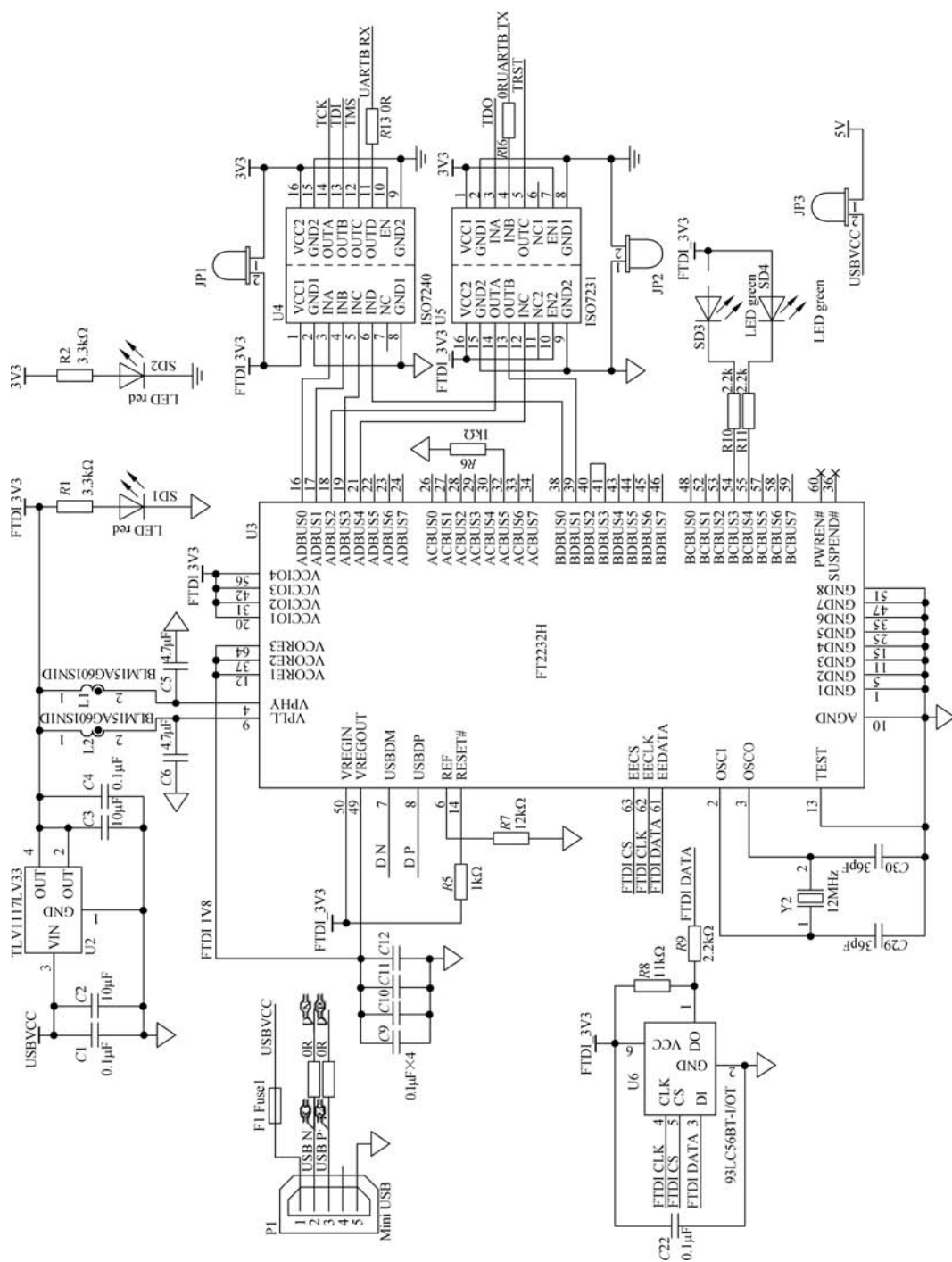


图 3.4 仿真电路原理图

处理器如 TMS320F28x、TMS320C28x、TMS320C54x、ARM9、ARM Cortex-A8、ARM Cortex-A9 和 Cortex-M3 等,支持断电检测,自适应时钟支持 Code Composer Studio V6 和更高版本,主控电路引出引脚如图 3.5 所示。

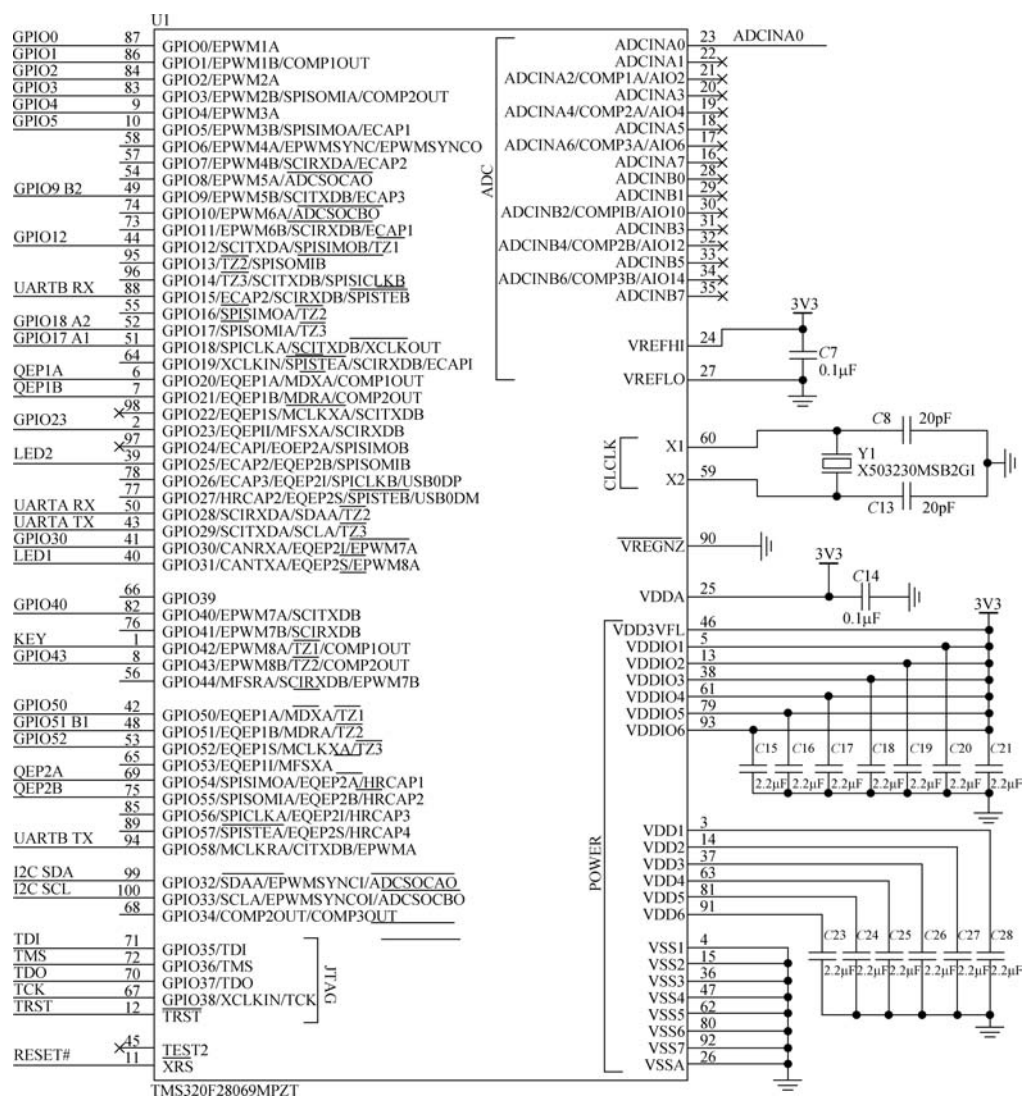


图 3.5 主控芯片功能引脚原理图

JTAG 相关引脚与 FT2232 相连,除了 LED 灯与 KEY 用到的 I/O 口以及 CAN connector 接口,其余功能引脚引到主控板的 P2 和 P3 处,具体引脚功能如图 3.6 所示,再与其他接口相同模块的连接来实现外部信号与主控芯片的相互传递。

其中,3.3V 用于主控板供电,使用开关 S5 来实现主控板 USB 电源未连接时通过外部电源管理电路来为主控板供电。

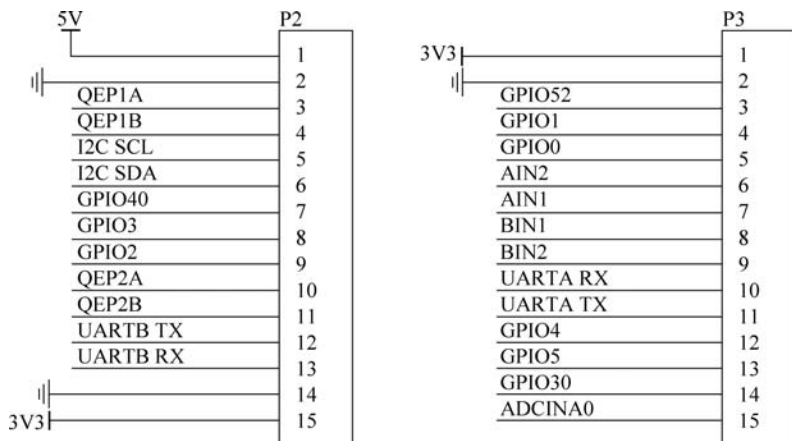


图 3.6 主控板原理图

3.3 电源管理电路

由于系统较为复杂,各模块的供电电压也有区别,需要利用电源模块来实现各部分硬件电路的不同电压供给,因此电源模块中包含多个电压转化电路。供电电池采用移动电源(充电宝)的原理简单,在外部电源供应的场合预先为内置的电池充电,即输入电能,并以化学能形式预先存储起来,当需要时即由电池提供能量及产生电能,通过电压转换器(直流-直流转换器,如图 3.7 所示)提供所需电压,电量约为 10000mAh,满电压约为 5.0V(输出升压至 12.0V),使用 XL2596S 将 12V 转化为 5V(如图 3.8 所示),使用 TLV1117LV33 将 5V 转化为 3.3V,用于主控板供电及其他电路的外接设备供电(如图 3.9 所示)。



图 3.7 电压转换器

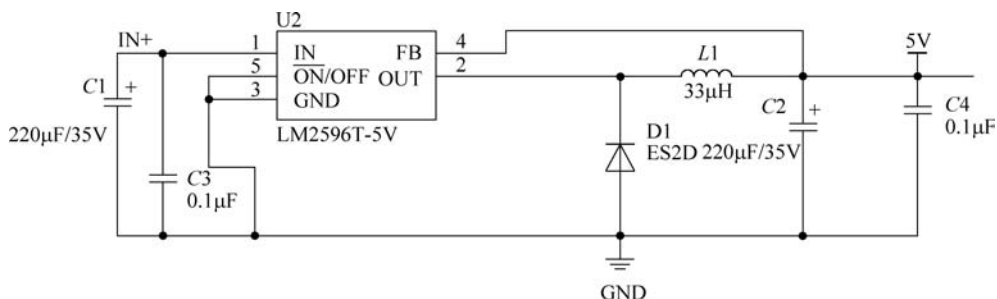


图 3.8 12V 转 5V 原理图

通过以上 3 部分电路,得到的 5V 与 3.3V 通过 Forest S1 引脚对外输出,如图 3.10(a)所示,而 12V 则单独通过 tb1 向电动机驱动板输出,如图 3.10(b)所示。

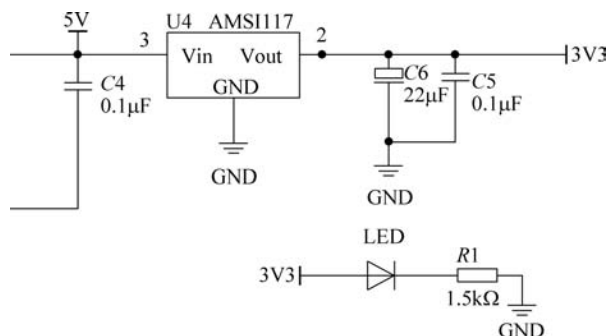


图 3.9 5V 转 3.3V 原理图

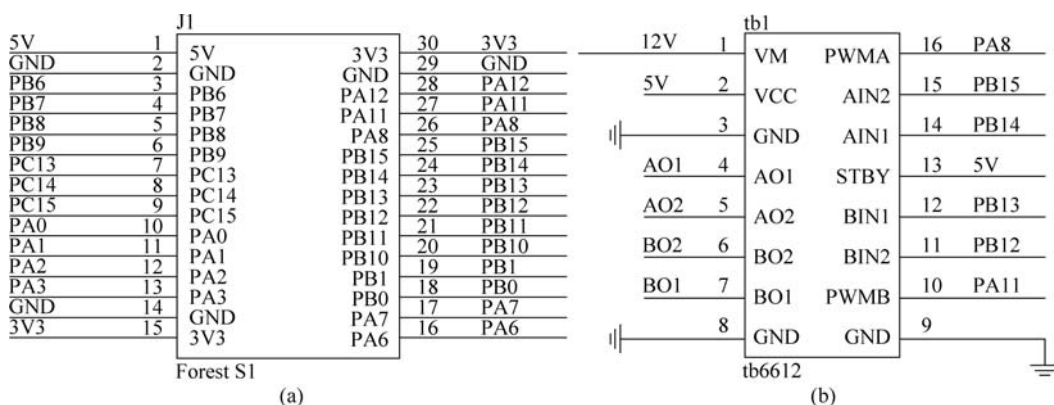


图 3.10 电源板接口原理图

选用锂电池作为外部电源,是因为锂电池没有记忆效应,充放电的次数较多,能量密度大,安全性较高,充放电性能也更好。锂电池或锂离子聚合物电池不管以重量计算或以体积计算,能量密度都是最高的。此外,锂电池或锂离子聚合物电池在充电及放电过程中的效率也较高。但是锂电池过充或过放很容易使电池永久损坏,所以需要有较精密的电子线路控制其充放电;而且锂电池在高温下会自燃,因此安全性及稳定性极为重要,需要提供可靠的安全保护电路防止任何导致超温的情况出现。

锂电池有硬的外壳,锂离子聚合物电池则没有,所以锂电池理论上会轻微略重,而锂离子聚合物电池由于没有硬壳,便于制成特定尺寸以配合外观,但锂离子聚合物电池在充满电后体积会略有膨胀变大,需要在设计时预留空间,免得电池内压力过大而造成危险。

如图 3.11 所示,电池电压由电阻分压,在 AD0 处采集到的电压为实际电池电压的 1/11,将采样值代入式(3.1)进行计算(这里 ADC 采样精度为 12 位)。

$$\text{Battery_Voltage} = \text{Get_Battery} \times 3.3 \times 11 / 4096 \quad (3.1)$$

再根据判断标准对测得的电量变量 Battery_Voltage 进行判断,当电量低于阈值时,设置拉低 GPIO56 来使得蜂鸣器工作,从而实现电量不足的报警。

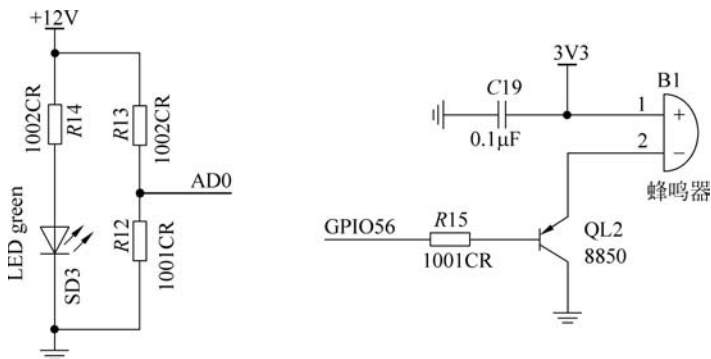


图 3.11 电压采集及报警电路

3.4 电动机驱动电路

直流电动机驱动的理想简化模型如图 3.12 所示。

图 3.12 中 U 为输入到电动机的电压源，电线与绕组中的电阻与电感分别用 R 与 L 表示，电动机转子旋转时产生的反电动势用 E 表示，电流 i 方向如图 3.12 所示， T 为带动负载旋转所需的扭矩。为了达到轮式机器人的平衡，最重要的是根据当时车身的姿态及车轮的速度来实时地对输出扭矩做调整，而电动机的负载扭矩由电流决定，可概括为如式(3.2)的线性关系式。

$$T = k_i \times i \quad (3.2)$$

因此通过控制电流 i 就可以控制电动机的转矩，从图 3.12 中可以得到电压守恒方程式，如式(3.3)所示。

$$U = R \times i + L \frac{di}{dt} + E \quad (3.3)$$

转速越快，切割磁感线速度越快，反电动势 E 越大，也可以用线性关系式(3.4)表示。

$$E = k_e \times \omega \quad (3.4)$$

对公式(3.3)做拉普拉斯变换可以得到式(3.5)。

$$I(s) = \frac{U(s) - k_e \omega(s)}{Ls + R} \quad (3.5)$$

由式(3.5)可以得到，排除固定的系数，电动机电流的大小与给定电压、实际转速、线圈电感与线圈电阻由以上关系共同决定，线圈的电感与电阻为系统常量，所以想要调节电动机转矩 T ，可以通过调节给定电压从而改变电流来间接实现转矩的调整，至于转速 ω 也会随其他变量的变化而变化，所以不能作为调整的主体。

综上所述，电压控制是直流电动机驱动的主要任务。直流电动机的转速较高，需要通过



视频讲解

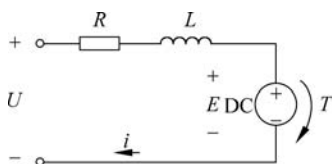


图 3.12 直流电动机驱动简化模型

一级或者多级的减速器来增加扭矩以及控制性能,这里使用的永磁有刷直流电动机额定功率为 4.3W,额定电压为 12V,额定电流为 360mA,堵转电流为 2.8A,额定转矩为 $1\text{kg}\cdot\text{cm}$,原始最大转速为 10000rpm,实际空载转速为 $330\pm 10\text{rpm}$,减速器减速比为 1 比 30。

由图 3.13 可以看出,在加速阶段,转速提升时的加速度基本与电枢电压呈线性关系,加速时间由电动机转动惯量、减速器传动比等因素决定,一般不超过一秒,当加速至恒速时,最大速度与电压之间同样显示出了正相关关系。

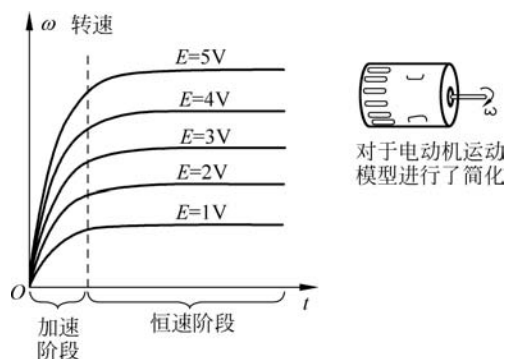


图 3.13 直流电动机转速特性图

结合有刷直流电动机的原理,平衡移动机器人采用的是 TI 公司的 TB6612 系列的有刷直流电动机驱动芯片。TB6612 电动机驱动芯片有两个全桥电路可以同时驱动两个直流无刷电动机,其中一个简单的 PWM 接口便可以方便地对控制器电路进行接入,峰值输出电流为 2A,宽电源电压范围为 2.7~10.8V。其控制框图如图 3.14 所示。

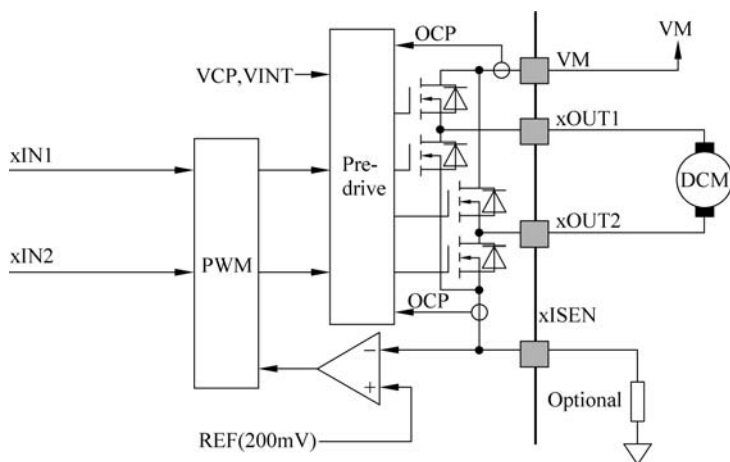


图 3.14 电动机控制原理框图

AIN1 和 AIN2 引脚控制着 AOUT1 和 AOUT2 的输出,同样,BIN1 和 BIN2 控制着 BOUT1 和 BOUT2 的输出,其作为 I/O 口进行控制电动机时,控制逻辑如表 3.1 所示。

表 3.1 I/O 口模式电动机控制逻辑表

xIN1	xIN2	xOUT1	xOUT2	功 能
0	0	Z	Z	平稳滑行/快速停止
0	1	L	H	反转
1	0	H	L	向前
1	1	L	L	制动/减速

当利用 PWM 作为输入控制电动机时,其控制逻辑如表 3.2 所示。

表 3.2 PWM 模式电动机控制逻辑表

xIN1	xIN2	功 能
PWM	0	向前 PWM,快速停止
1	PWM	向前 PWM,缓慢减速
0	PWM	反转 PWM,快速停止
PWM	1	反转 PWM,缓慢减速

这里设置 TB6612FNG 工作在 PWM 输入模式,通过两路 PWM 信号的输入来实现电动机正反转及调速控制,其原理图如图 3.15 所示。

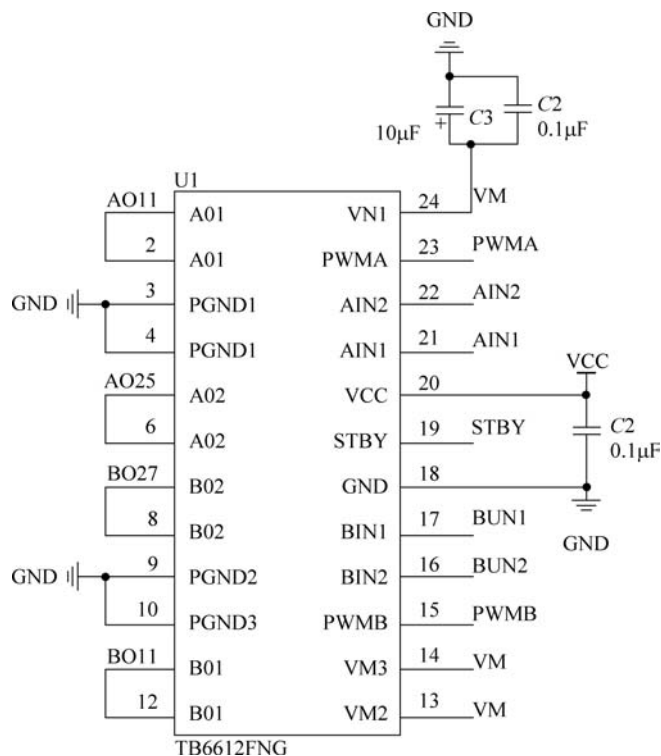


图 3.15 电动机驱动电路图

图 3.16 是电动机驱动板接口原理图。通过 AB 输入端口 GPIO 输出的高低组合切换不同的驱动电压,用于在后期实验时观察驱动电压对驱动效果的影响。

电动机驱动还包含电动机编码盘的测速信号读取,编码器是一种将角位移或者角速度转换成一连串电数字脉冲的旋转式传感器。应用较多的编码器主要是增量式编码器和绝对式编码器,二者的区别在于数据的信号处理有所不同,其次根据其检测原理有更加细致的划分,比如利用光电效应的编码器以及利用磁场原理的霍尔编码器,如图 3.17 所示。

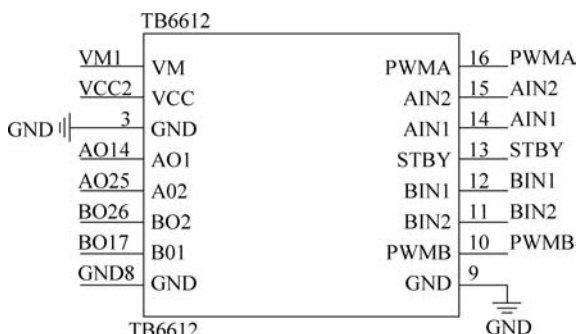


图 3.16 驱动板接口原理图



图 3.17 霍尔编码器示意图

本方案采用的是增量式霍尔编码器,通过 AB 两相正交的方波脉冲来传递直流电动机的方向以及位置信号,AB 两路信号的相位差经逻辑电路处理后可以判断转动方向,而通过对方波个数的计数可以得到电动机位置,电动机速度的判断借助定时器的中断功能配合编码器的输出脉冲信号来完成,具体方法是使用定时器规定检测周期,将周期内的脉冲个数作为速度的代替值。

将电动机编码器 AB 相信号引入 eQEP 模块,其接口电路如图 3.18 所示。其中 AO1、AO2 为 TB6612FNG 的输出信号,5V 用于给霍尔编码器供电,AB 两路的编码器信号线接入 QEPA 和 QEPB 接口。

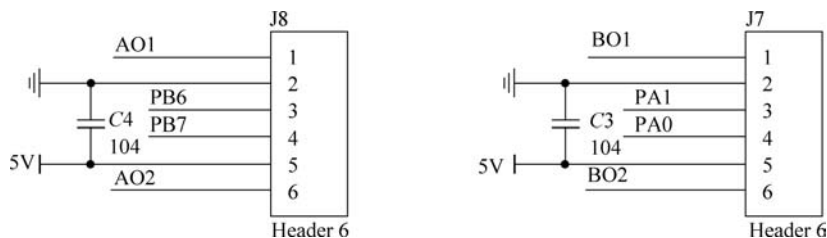


图 3.18 eQEP 功能接口原理图

3.5 直流电动机驱动 H 桥电路

如图 3.19 所示为一个典型的直流电动机控制电路。以“H 桥式驱动电路”为名是因为它的形状酷似字母 H。4 个三极管组成 H 的 4 条垂直腿,而电动机就是 H 中的横杠。如

图 3.20 所示, H 桥式电动机驱动电路包括 4 个三极管和一个电动机。要使电动机运转, 必须导通对角线上的一对三极管。根据不同三极管对的导通情况, 电流可能会从左至右或从右至左流过电动机, 从而控制电动机的转向。

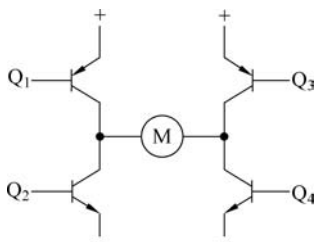


图 3.19 直流电动机控制电路

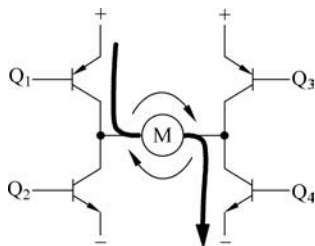


图 3.20 H 桥电路驱动电动机顺时针转动

要使电动机运转, 必须使对角线上的一对三极管导通。例如, 如图 3.20 所示, 当 Q_1 管和 Q_4 管导通时, 电流就从电源正极经 Q_1 从左至右穿过电动机, 然后再经 Q_4 回到电源负极。如图 3.20 中电流箭头所示, 该流向的电流将驱动电动机顺时针转动。当三极管 Q_1 和 Q_4 导通时, 电流将从左至右流过电动机, 从而驱动电动机按特定方向转动(电动机周围的箭头指示为顺时针方向)。图 3.21 所示为另一对三极管 Q_2 和 Q_3 导通的情况, 电流将从右至左流过电动机。当三极管 Q_2 和 Q_3 导通时, 电流将从右至左流过电动机, 从而驱动电动机沿另一方向转动(电动机周围的箭头表示为逆时针方向)。

使能控制和方向逻辑驱动电动机时, 保证 H 桥上两个同侧的三极管不会同时导通非常重要。如果三极管 Q_1 和 Q_2 同时导通, 那么电流就会从正极穿过两个三极管直接回到负极。此时, 电路中除了三极管外没有其他任何负载, 因此电路上的电流就可能达到最大值(该电流仅受电源性能限制), 甚至烧坏三极管。基于上述原因, 在实际驱动电路中通常要用硬件电路方便地控制三极管的开关。如图 3.22 所示就是基于这种考虑的改进电路, 它在基本 H 桥电路的基础上增加了 4 个与门和 2 个非门。4 个与门同一个“使能”导通信号相接, 这样, 用这一个信号就能控制整个电路的开关。而 2 个非门通过提供一种方向输入, 可以保证任何时候在 H 桥的同侧腿上都只有一个三极管能导通。与本节前面的示意图一样, 如图 3.22 所示不是一个完整的电路图, 特别是图中与门和三极管直接连接是不能正常工作的。

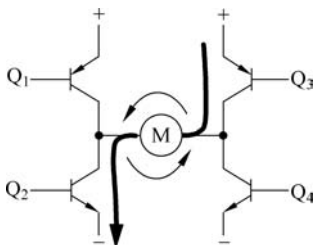


图 3.21 H 桥电路驱动电动机逆时针转动

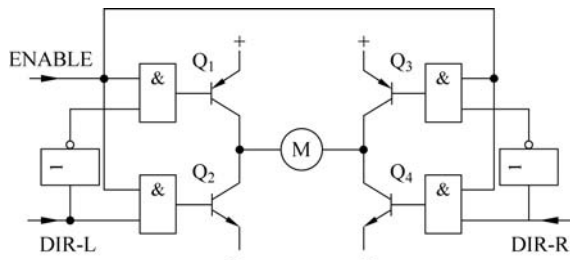


图 3.22 具有使能控制和方向逻辑的 H 桥电路

采用以上方法,电动机的运转就只需要用 3 个信号控制:2 个方向信号和 1 个使能信号。如果 DIR-L 信号为 0,DIR-R 信号为 1,并且使能信号是 1,那么三极管 Q_1 和 Q_4 导通,电流从左至右流经电动机(如图 3.23 所示);如果 DIR-L 信号变为 1,而 DIR-R 信号变为 0,那么 Q_2 和 Q_3 将导通,电流则反向流过电动机。

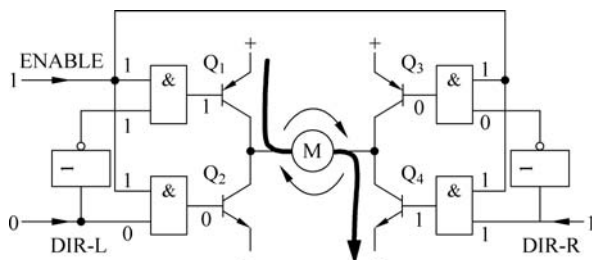


图 3.23 使能信号与方向信号的使用

实际使用的时候,用分立元件制作 H 桥电路是很麻烦的,好在现在市面上有很多封装好的 H 桥集成电路,接上电源、电动机和控制信号就可以使用了,在额定的电压和电流内使用非常方便可靠。常用的有 L293D、L298N、TA7257P、SN754410 等。

3.6 传感器与外设模块

主要用到的传感器包括陀螺仪加速度计传感器、超声波传感器、蓝牙通信模块及线性摄像头传感器。

3.6.1 基于陀螺仪与加速度计的姿态测量

智能平衡式移动机器人的一大特性便是在自不稳定的条件下保持平衡,而维持平衡是通过检测车身倾角而调整电动机转速与转矩来实现的,在这一过程中姿态检测尤为重要,本方案使用的是 Invensense 公司的 MPU6050 系列芯片(如图 3.24 所示),集成了三轴加速度计和陀螺仪,可实现对各个方向角度和速度的解算。通过 IIC 接口可以进行 3 个方向的加速度信号和角速度信号的读取。

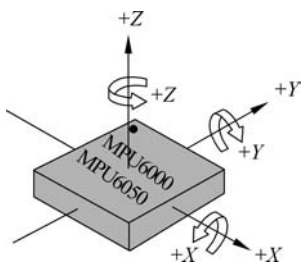


图 3.24 陀螺仪方向示意图

要计算出车体的倾角,可以通过重力加速度在其他轴上产生的分量来计算出角度,即测量 X 轴或 Y 轴某一轴向的加速度就可以计算出倾角,因为在传感器静止水平的时候,X 轴与 Y 轴不会有输出,而在其产生一定的倾角时才会使重力加速度 g 在 X 轴或 Y 轴上产生分量,而且该轴倾斜的角度和重力分量的大小相关。所以只要利用 C 语言中的 $\text{atan2}(x, y)$ 函数,计算 X 轴与 Z 轴平面或者 Y 轴与 Z 轴平面的当前方位角,同时将其值转化为角度值,计算方法如式(3.6)和式(3.7)所示。

$$\text{Angle_X} = \text{atan2}(\text{Accel_Y}, \text{Accel_Z}) \times 180/\text{PI} \quad (3.6)$$

$$\text{Angle_Y} = \text{atan2}(\text{Accel_X}, \text{Accel_Z}) \times 180/\text{PI} \quad (3.7)$$

但是这个角度会受到车体运动加速度值所带来的误差影响,从而导致角度计算的精度不够;具体分析如下:假设轮式机器人的倾角为 β ,传感器Z轴朝上水平安装在轮式机器人上,运动方向为水平时候的Y方向,如果不考虑运动时产生的加速度值,加速度计测量到的Y轴的值即为式(3.8)。

$$a_y = \sin\beta \times g \quad (3.8)$$

而实际运动情况下Y轴的加速度还应考虑平衡移动机器人的运动加速度 a' ,因此得到式(3.9)。

$$a_y = \sin\beta \times g + \cos\beta \times a' \quad (3.9)$$

a' 代表了线加速度与角加速度的和,这样无法准确地计算出倾角。所以仅仅是加速度计不足以得到准确的结果,这里选用的传感器 MPU6050 还包含了陀螺仪的检测单元,能够输出三轴角速度信息,通过角速度值,可以进行积分得到角度值,因而也就避免了加速度计算角度产生的误差。假设在一个 5ms 的定时中断服务函数中执行式(3.10)。

$$\text{Angel_X} = \text{Angel_X} - \text{Gyro_X} \times 0.005 \quad (3.10)$$

式中,Gyro_X 为陀螺仪输出的 X 轴方向的角速度。MPU6050 输出的陀螺仪的原始数据是 $-32\,768 \sim 32\,768$,可以根据式(3.11)转换成以 $(^\circ)/\text{s}$ 为单位。

$$\text{Gyro_X} = \text{Gyro_X}/k \quad (3.11)$$

其中, k 和初始化时的量程有关,可以在 MPU6050 的手册中查到,当初始化为 $\pm 2000^\circ/\text{s}$ 时, $k=16.4$,如图 3.25 所示。

6.1 Gyroscope Specifications
VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V $\pm$ 5% or VDD, T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
GYROSCOPE SENSITIVITY						
Full-Scale Range	FS_SEL=0		± 250		$^\circ/\text{s}$	
	FS_SEL=1		± 500		$^\circ/\text{s}$	
	FS_SEL=2		± 1000		$^\circ/\text{s}$	
	FS_SEL=3		± 2000		$^\circ/\text{s}$	
Gyroscope ADC Word Length						
Sensitivity Scale Factor			16		bits	
	FS_SEL=0		131		LSB/ $(^\circ/\text{s})$	
	FS_SEL=1		65.5		LSB/ $(^\circ/\text{s})$	
	FS_SEL=2		32.8		LSB/ $(^\circ/\text{s})$	
	FS_SEL=3		16.4		LSB/ $(^\circ/\text{s})$	

图 3.25 MPU6050 量程设置(数据手册截图)

但积分运算在不断累加的过程中很容易积累误差,而角速度信号会在干扰等情况下产生一些微小的偏差,如果经过积分运算,就会使得偏差增大,从而使得信号失真,就算传感器静止放置,通过积分运算得出的角度值,经观察也很可能呈现随时间增加的情况,所以仅使用陀螺仪数据,无法得到准确的角度。另一种方法是将两种测量数据通过数学方法相融合得到最终的值,常用的方法有以加权平均为原理的一阶互补滤波,高级的方法有卡尔曼滤波。互补滤波具体实现见式(3.12)。

$$\text{Angle} = k_1 \times \text{Angle_m} + (1 - k_1) \times (\text{Angle} + \text{Gyro_m} \times \text{dt}) \quad (3.12)$$

Angle 是融合后的角度值,Angle_m 是加速度测量得到的角度,Angle+Gyro_m $\times$ dt

是陀螺仪积分得到的角度, dt 为采样周期, 单位是 s 。 k_1 是滤波器系数, 这里选取 0.02。

下面通过一个实验来对比 3 种测量方法的实际效果, 将安装了 MPU6050 的机器人在桌面上直立, 然后轻轻拍打桌面。将计算值通过串口输出到上位机, 通过上位机可以观察到 3 条曲线, 如图 3.26 所示。其中顶部是通过陀螺仪积分获得的角度, 折线是加速度计测量的角度, 折线所包含的是两者通过算法融合得到的角度。

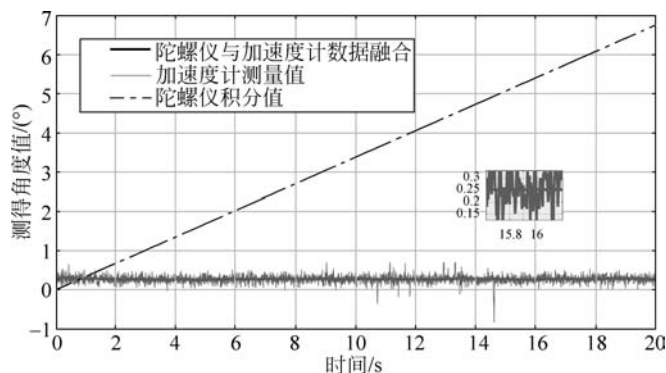


图 3.26 数据采集效果对比

可以看到, 陀螺仪积分得到的角度因为自身的零点漂移, 误差随着时间变化在每一个时间周期中逐步增加, 误差越来越大, 最终偏离真实值。加速度计测量的角度信号在受到外界干扰的情况下, 会有很大的毛刺。而通过算法融合得到的角度值则非常稳定, 变化范围也很小。数据融合的要点在于, 将加速度计及陀螺仪两种传感器的固有弱点相互抵消, 加速度计容易采集到的某一时刻加速度的瞬时值, 而陀螺仪的积分会放大温度漂移静态误差, 瞬时值需要通过滤波器过滤掉, 而陀螺仪的误差不能够被长时间的积分反复累计, 所以需要互补滤波器来实现加速度计对陀螺仪计算角度的纠正, 将陀螺仪测得的数据作为主要的计算依据, 由于加速度计会将运动速度计入因而不够精确, 但是在每个循环周期反复积分时给其一定的比重, 就能够矫正偏差的累计, 最终得到相对精确的测量值。硬件上, MPU6050 模块通过 IIC 接口与主控芯片进行通信, 该模块采用市面通用的 8 引脚直插模块, 方便维修更换, 传感器电路以及接口电路如图 3.27 所示, 由于其电路中设计了稳压模块, 输入电压可以为 3.3~5V, 这里接入 5V, AD0 是当总线连接了多个 IIC 从设备时, 通过该位来为从机选择一个地址。当 MPU6050 设置为从机模式的时候, 通过 AD0 位来选择 8 位地址中的最低位, 其余 7 位是固定的 0x68, 由 WHO_AM_I 寄存器决定, XCL 引脚与 XDA 引脚为 MPU6040 作为主机时候的时钟线与数据线, 本书的方案中 IIC 设备仅有 MPU6050, 并且工作在从机模式, 因而接口电路只需要连接电源和地, 另外连接 IIC 接口的 SCL 与 SDA 引脚即可, INT 为中断引脚, 这里没有用到, 保持悬空。

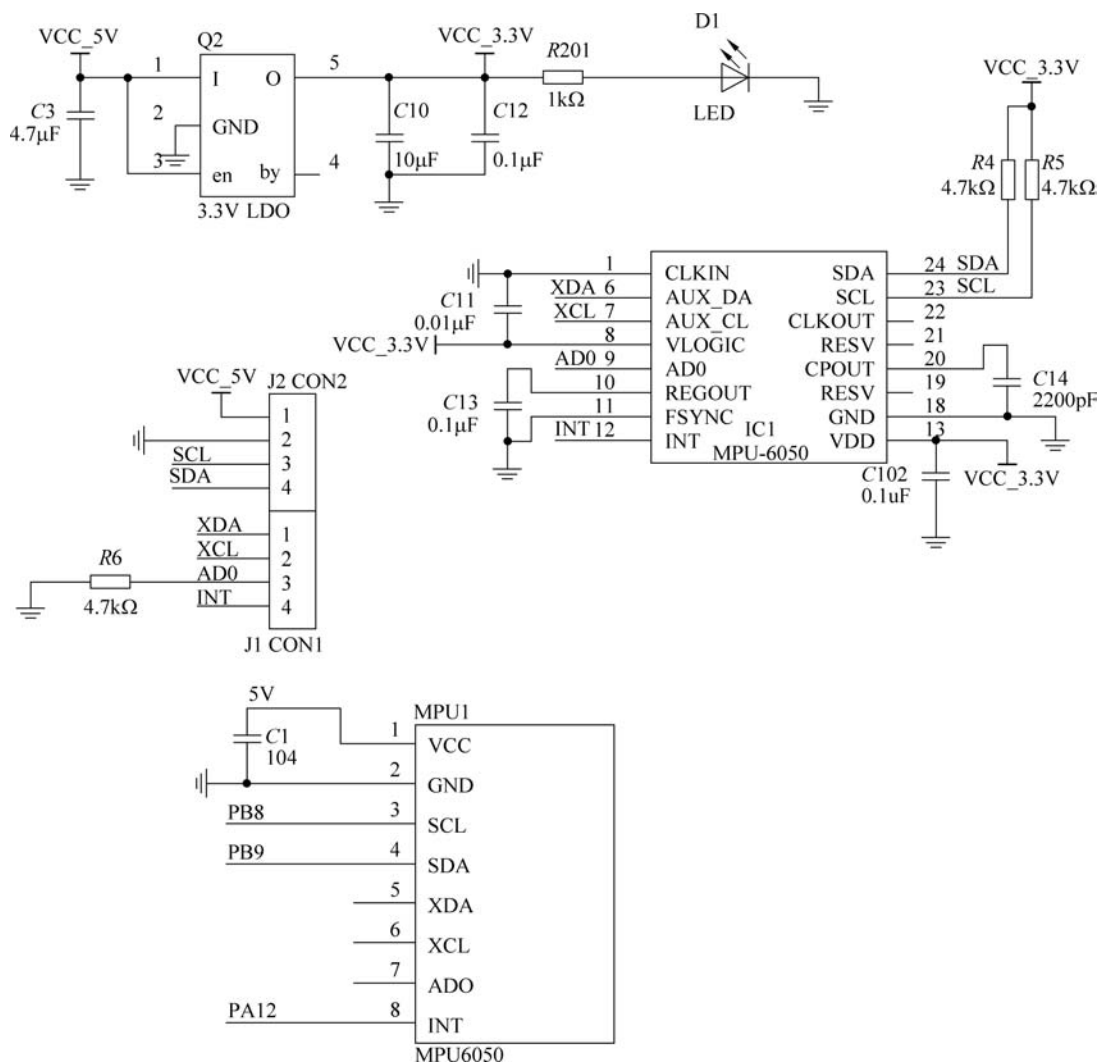


图 3.27 陀螺仪模块原理图及接口电路

3.6.2 蓝牙通信模块

通过蓝牙串口可以观测车轮的速度等信息，蓝牙串口采用的是德州仪器的 CC2541 系列芯片，支持 AT 指令，功耗低，收发灵敏度高，具有宽泛的电源电压范围，不使用外部前段而支持长距离应用，可以通过蓝牙 4.0 协议快速地与手机、计算机等设备建立连接，从而接收串行数据，实现远程遥控。使用成熟模块时，仅需要将串口 SCIA 的两个引脚与模块相连，如图 3.28 所示。

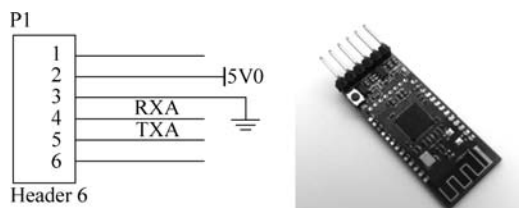


图 3.28 蓝牙串口接口与实物图

3.6.3 OLED 显示模块

OLED 即有机发光二极管 (Organic Light-Emitting Diode), 又称为有机电激光显示 (Organic Electroluminescence Display, OLED)。OLED 由于同时具备自发光、不需背光源、对比度高、厚度薄、视角广、反应速度快、可用于挠曲性面板、使用温度范围广、构造及制程较简单等优点, 被认为是下一代的平面显示器新兴应用技术。OLED 显示技术具有自发光特性, 采用非常薄的有机材料涂层和玻璃基板, 当有电流通过时, 这些有机材料就会发光, 而且 OLED 显示屏幕可视角度大, 并且能够节省电能。OLED 模块接口实物图和显示屏如图 3.29 所示。

OLED 模块的 8080 接口方式需要如下一些信号线。

- CS: OLED 片选信号。
- WR: 向 OLED 写入数据。
- RD: 从 OLED 读取数据。
- D[7: 0]: 8 位双向数据线。
- RST(RES): 硬复位 OLED。
- DC: 命令/数据标志 (0, 读写命令; 1, 读写数据)。

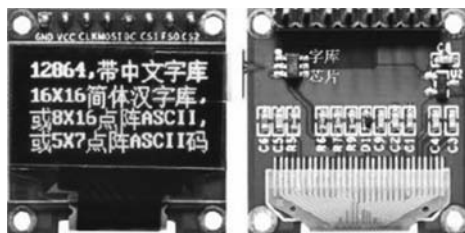


图 3.29 OLED 模块接口实物图

3.7 本章小结

本章根据智能平衡式机器人平台的特性与应用要求, 提出统一硬件接口标准、模块化搭建实现平台的硬件系统设计。主要完成的任务包括以下方面。

- 集成仿真器的主控制板电路与硬件设计。
- 用于多个设备独立供电的电源管理板电路与硬件设计。
- 可调节驱动电压的电动机驱动板电路与硬件设计。
- 陀螺仪加速度计、蓝牙、OLED 显示在内的传感器与外设模块电路与硬件设计。