

# 圆梦小车 Step by Step 之三

—— 让小车“动”起来

既然叫“小车”就得能“动”，本篇将解析小车的“腿”，并且教你如何使它“抬腿”！

## 一、小车的“腿”由何组成

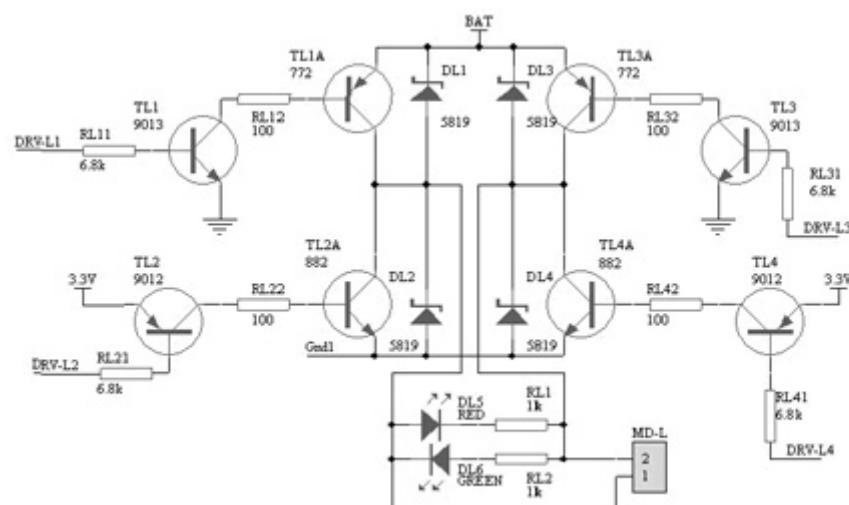
直观看，小车的“腿”车轮和电机组成，可在这个表象之后真正的核心是驱动电机的电路和控制逻辑，轮子和电机较直观，此处不再叙述，尤其小车使用的是最普通的玩具直流电机，就更无讨论的价值了！

下面主要讨论如何驱动它的？控制逻辑又是怎样？

关于单片机控制电动机的研究，王晓明老师的《电动机的单片机控制》一书中讨论的已相当透彻，读者可以仔细阅读“直流电动机调速系统”那一章。

此处，只就小车的具体硬件电路作相应的说明。

因为小车需要能够“前进”、“后退”，所以必须能够控制电机正反转，所以必须使用 H 桥驱动，H 桥的驱动分析书中有详细描述。小车的 H 桥电路如下：



4 个桥臂驱动管的作用自不必说，4 个控制驱动管的三极管作用之一是实现电平转换，因为 MCU 和控制逻辑电路使用的是 3.3 V，而 H 桥使用的是电池电压，用 4 节充电电池时将有 5V，直接控制，将导致上桥臂无法关断。

作用之二是由于使用的是双极型三极管作为驱动管，而非 MOS 管，需要一定的基极电流驱动，按 3A 驱动电流计算，如驱动管的放大倍数为 100 倍（通常大电流的放大倍数如此），则基极电流需要 30mA，这是 CMOS 集成电路无法提供的，所以需要一级电流放大。

这样设计有一个好处，读者如果需要用高电压的直流电机改善小车的性能，或者将控制器用于控制其它平台（如 LEGO 的电机），可以提高电池电压，只需修改驱动管的基极电阻参数即可。当然，**需要将主控板上的 5V 稳压电路焊上，否则系统中的轨迹采样、无线接口部分将出问题 !!!**

在桥路输出端所接的两个 LED 是为了调试方便，在程序没有把握时，可以不接电机，靠 LED 来指示你的控制是否正常。否则你必须靠观察电机状态调试，既费电又不直观（看不清是正转还是反转）。

书中叙述了两种直流电机的驱动模式：

- 直流电动机双极性驱动可逆 PWM 系统 (6.3)
- 直流电动机（受限）单极性驱动可逆 PWM 系统 (6.4)

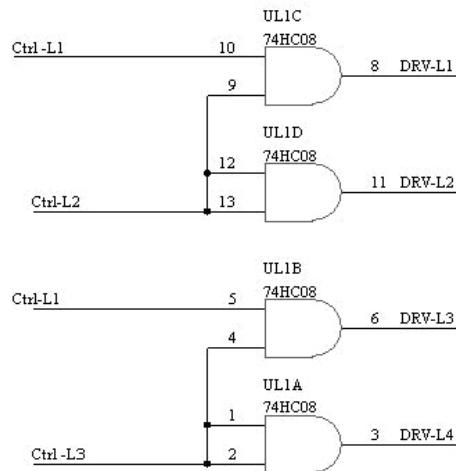
两个系统的工作原理和特性书中有详细描述，我在写“寻迹小车 FollowMe”文章时试验过，用前一模式没有任何好处，电流还“狂大”，也许这种低档电机不配吧！

在 FIRA 比赛中，我看过去东北大学的小车，估计是用此模式的，其启动速度极快，且小车在静止时还在“抖动”。但你知道它用的是什么电机吗？据说是 FAULHABER 的空心杯电机，一个就要 150 美金呢！

所以在此次设计中便放弃了对前一模式的支持，只考虑“受限单极性可逆 PWM”驱动

方式。读者可以先看一下书中 6.4.3 所描述的电路。

在那个电路中，只能实现电机正转、反转控制，而“刹车”（下桥臂或上桥臂都导通）和“惰行”（4 个桥臂都不导通）无法实现，所以我在此基础上作了改进：



图中，Ctrl-L1 提供 PWM 信号，Ctrl-L2、Ctrl-L3 组合实现正转、反转、刹车、惰行 4 个运行状态，控制逻辑如下：

Ctrl1	Ctrl2	Ctrl3	Drv1	Drv2	Drv3	Drv4	电机状态
X	0	0	0/截止	0/导通	0/截止	0/导通	刹车
PWM	1	0	PWM	1/截止	0/截止	0/导通	正转
PWM	0	1	0/截止	0/导通	PWM	1/截止	反转
0	1	1	0/截止	1/截止	0/截止	1/截止	惰行
1	1	1	1/导通	1/截止	1/导通	1/截止	刹车

控制逻辑和驱动电路确定了，下面就要讨论如何使用 MCU 实现这个控制。

## 二、如何用 STC12LE5412AD 控制

从上面的电路图可以看出，控制一个电机需要 3 个 I/O 口，其中 2 个用普通的 I/O 即可，但有一个最好是能够输出 PWM 信号的，即占空比可控的脉冲信号。

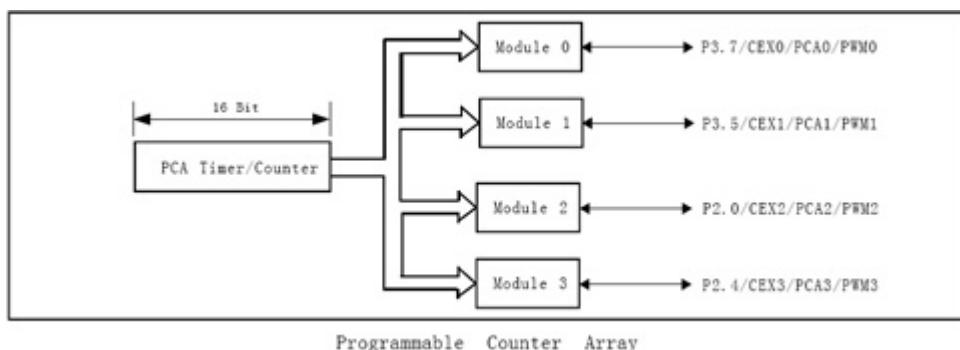
当然，使用定时器中断配合软件控制，用普通 I/O 口也可实现，但是这样做软件开销太大，且程序中如果有长时间不允许中断的处理（如读一些特殊的传感器，18B20 就是），则

电机运行将不稳定。

从前两篇文章中可以看出，此单片机仅有的 2 个定时器已被使用，一个用于产生定时的时基，一个用于产生串口波特率，只剩 4 路 PCA 可用了。

PCA 是 Programmable Counter Array 的缩写，意思是：可编程计数器阵列，它的作用与定时/计数器类似，但有些地方强于定时/计数器。其主要特征是有一个公共的计数器对时钟计数，有若干个捕获/比较模块完成一些常用的与定时、计数有关的功能，如脉冲周期捕获、定时、高速脉冲输出、PWM 信号生成等。详细的功能描述读者可参阅相关数据和单片机的数据手册，此处不再细说。

本设计所选用的 STC12LE5412AD 有 4 路 PCA：



每路 PCA 的功能如下：

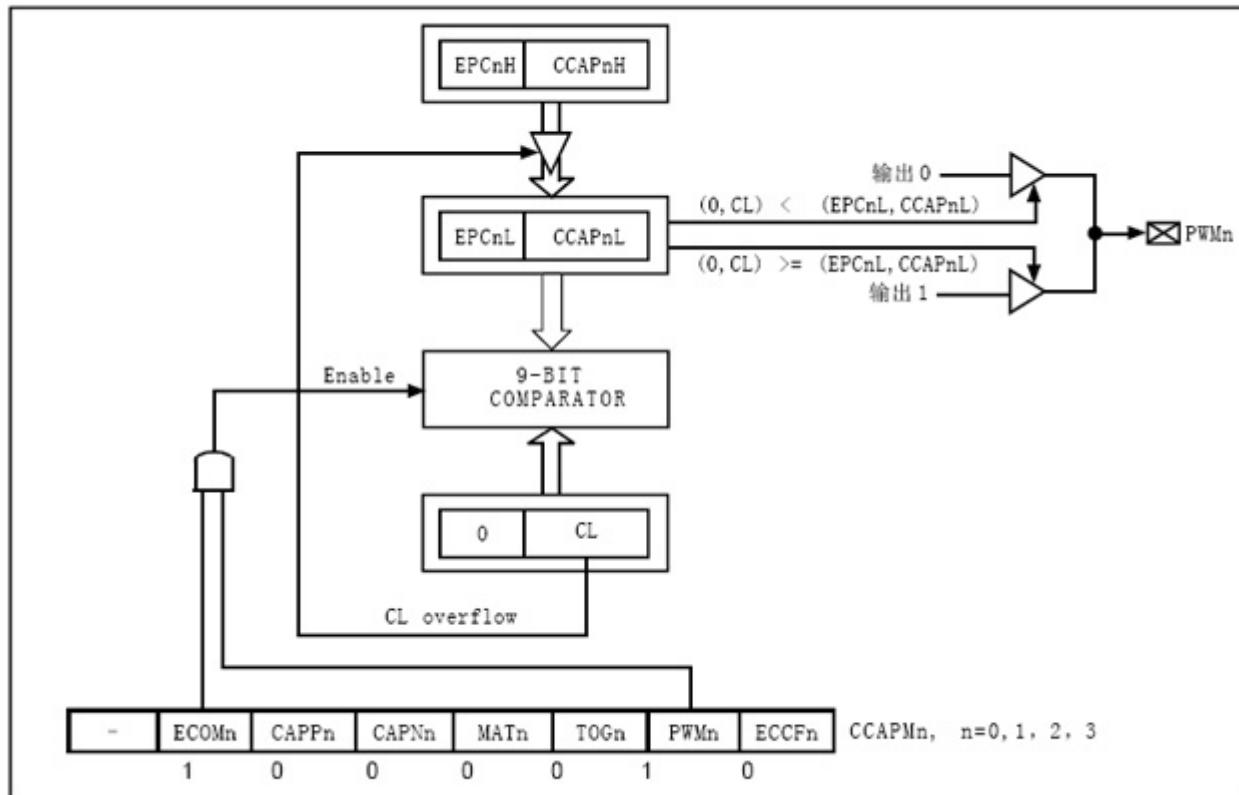
- ✧ 上升、下降沿捕获
- ✧ 软件定时器
- ✧ 高速脉冲输出
- ✧ PWM 信号输出

设计中，选用 P2.0、P2.4 分别作为一个电机的 PWM 信号，即将 PCA2、PCA3 设置在 PWM 模式。为便于程序控制，将 P2.1、P2.2 和 P2.0 相配，P2.5、P2.6 和 P2.4 相配，构成两个电机的控制，P2.1、P2.2 和 P2.5、P2.6 控制电机的工作状态，P2.0 和 P2.4 控制电机的功率（PWM 调功）。

PWM 模式的功能如下：

#### 脉宽调节模式(PWM)

所有 PCA 模块都可用作 PWM 输出（下图）。输出频率取决于 PCA 定时器的时钟源。



PCA PWM mode / 可调制脉冲宽度输出模式

#### PWM 的工作原理和参数设置描述如下：

由于所有模块共用仅有的 PCA 定时器，所有它们的输出频率相同。各个模块的输出占空比是独立变化的，与使用的捕获寄存器 {EPCnL, CCAPnL} 有关。当 CL\_SFR 的值小于 {EPCnL, CCAPnL} 时，输出为低，当 PCA CL\_SFR 的值等于或大于 {EPCnL, CCAPnL} 时，输出为高。当 CL 的值由 FF 变为 00 溢出时，{EPCnH, CCAPnH} 的内容装载到 {EPCnL, CCAPnL} 中。这样就可实现无干扰地更新 PWM。要使能 PWM 模式，模块 CCAPMn 寄存器的 PWMn 和 ECOMn 位必须置位。

$$\text{由于 PWM 是 8 位的, 所以: } \text{PWM 的频率} = \frac{\text{PCA 时钟输入源频率}}{256}$$

PCA 时钟输入源可以从以下 4 种中选择一种：

Fosc / 12, Fosc / 2, 定时器 0 的溢出, ECI / P3.4 输入

举例：要求 PWM 输出频率为 38KHz，选 Fosc/2 为 PCA/PWM 时钟输入源，求出 Fosc 的值

由计算公式  $38000 = Fosc / 2 / 256$ ，得到外部时钟频率  $Fosc = 38000 \times 256 \times 2 = 19,456,000$

如果要实现可调频率的 PWM 输出，可选择定时器 0 的溢出率或者 ECI 脚的输入作为 PCA/PWM 的时钟输入源

当 EPCnL = 0 及 ECCAPnL = 00H 时，PWM 固定输出高

当 EPCnL = 1 及 CCAPnL = OFFH 时，PWM 固定输出低

对于控制电机的 PWM 频率的选择，我也没有经验，从资料上看，似乎不能太低，一般

选择 10kHz 左右，所以在此处选择 Fosc/12 作为时钟源，按上面描述，PWM 的频率为：

$$(22.1184\text{MHz}/12)/256 = 7200 \text{ Hz}$$

如果读者有兴趣，可以尝试改变一下，看看用那个频率更合适，但从其时钟源的选择上看，要想灵活改变，只有自己构建一个振荡器从 P3.4 输入了，要放弃原来的主控工作指示。控制逻辑确定了，详细实现方法可看程序。

程序中增加了一个电机驱动函数，将电机的控制及 PWM 值输出，之后由单片机硬件完成电机的控制，只要不改变电机状态，就不再需要软件干预。

### 三、用 PC 机构建一个电机测试界面

单片机中的电机控制功能做好了，需要有手段测试，即需要给它不同的 PWM 值，观察电机的运转状态是否符合要求。

此时就用到 StepbyStep 之二中所说的通讯功能了。

先定义一个命令：电机 PWM 控制命令

**命令字** —— 0x03

**数据域** —— 左电机 PWM 值（2 字节，先低后高） 右电机 PWM 值

**返回数据帧：**

**帧头** **发送方地址** **自己的地址** **帧长** **命令** **电机控制输出（P2）** **校验和**

构建一个控制界面，实现：

- 左、右电机的 PWM 值设置
- 左、右电机运动方向设置
- 双电机快速刹车、惰行控制

按此要求设计的控制界面如下：



所用的资源与前面相同，只是为了美观加了一个框，将功能区划分一下。程序见附件。

#### 四、结语

读者从本篇中应该可以看出，PC 机作为辅助的调试手段是多么方便！

注意，我是使用的增加控制命令方式实现电机控制的，读者可以尝试一下用写内存的方式实现电机的控制。

这一篇主要描述了如何用 PWM 模式控制直流电机，所涉及的 PCA 在目前许多新型的单片机中都有，功能也大同小异，所以这一模式可以方便的移植到任何具有 PCA 模块的单片机上。

注意，程序为了便于阅读，没有做优化。读者可自行根据需要优化之。

下一篇将教小车“走路”！

附件：

- 1、增加了电机控制的单片机程序
- 2、增加了电机控制的 PC 机程序

参考资料：

- 1、《电动机的单片机控制》ISBN 7 – 81077 – 175 – 2
- 2、STC12C5410AD 数据手册