

电 子 科 技 大 学
实 验 报 告
(2020 - 2021 - 1)

学生姓名：周子涵 学生学号：2018011218014 指导老师：江朝抒

实验学时：4 实验地点：电科院大楼 209 实验时间：12.14 周一晚

报告目录

- 一、实验课程名称： 系统建模与仿真
- 二、实验名称： PID 智能小车自动控制实验
- 三、实验目的：

1. PID 系统的基本原理

PID 是 Proportional(比例)、Integral(积分)、Differential(微分)三者的缩写。PID 调节是连续控制系统中最成熟、应用最广泛的调节方式。PID 调节实质是根据输入的偏差值，按照比例、积分、微分的函数关系进行运算，运算结果用以控制输出，使系统达到稳定的算法。

连续系统的 PID 公式为：

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

其中， K_p 为比例系数， T_I 为积分时间常数， T_D 为微分时间常数， $e(t)$ 为偏差量， $u(t)$ 为控制量。从上面的式子中可以看出比例控制

K_p 能提高系统的动态响应速度，从而快速减少误差，但是不能消除误差，在误差较小时会发生震荡。 T_I 为积分控制系数，用于消除稳态误差，只要系统存在误差积分作用就会不断积累，输出控制量来消除稳态误差，如果偏差为零积分停止，但是积分作用太强会使得超调量加大，甚至使系统出现震荡。 T_D 为微分控制，微分与变化率有关，可以减小超调量来克服震荡，使系统稳定性提高，同时加快响应速度，使系统稳定更快有更好的动态性能。PID 公式离散化与增量式 PID

计算机控制是一种采样控制，只能根据采样时刻的偏差来计算控制量，因此计算机控制系统中，必须对公式进行离散化，具体就是用求和代替积分，用向后差分来代替微分，使模拟 PID 离散化为数字形式的差分方程：

$$u(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D [e(k) - e(k-1)]$$

将 PID 公式离散化后就可以用计算机来实现 PID 算法，但是根据离散 PID 公式可以看出，输出的数字调节信号与过去所有的偏差信号有关，计算机需要将所有过去的 $e(i)$ 进行累加，运算量很大，这种离散的 PID 算法一般称为位置式 PID 算法。为了减少计算量，一般会对位置式 PID 算法进行改进，使用增量式 PID 算法。

增量式 PID 与位置式 PID 算法没有本质区别，对位置式 PID 取增量，可以得到：

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

因此当前时刻控制量 $u(k)$ 可以由上次采样时刻的控制量 $u(k-1)$ 得到：

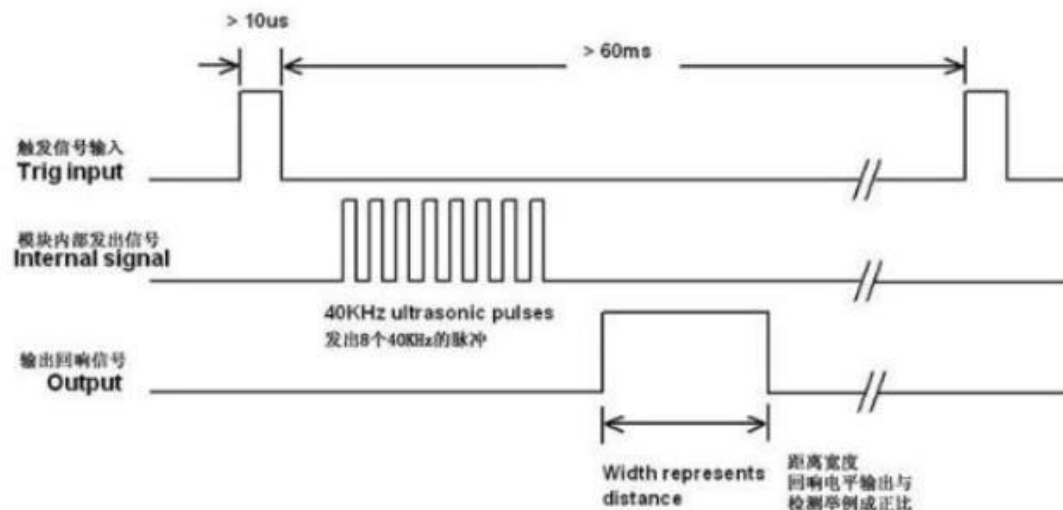
$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$$

增量式 PID 算法只需要 $u(k)$ 、 $u(k-1)$ 、 $u(k-2)$ 三个时刻的采样值，相比位置式 PID 大幅减少了计算量和内存的使用量，在工程中更为常用。

2. 小车测距原理

小车实验平台使用 hc-sr04 超声波模块采集距离信息，hc-sr04 模块具有四个引脚，两个为电源与 GND 引脚，另外两个用于反馈距离信息。

在触发信号输入引脚给至少 10us 的高电平信号，hc-sr04 模块会自动发送 8 个 40kHz 的方波信号，当 hc-sr04 模块检测到回波信号的时候，在回响信号输出引脚会输出一个低电平，低电平的持续时间就是超声波从发射到返回的时间，测试距离=（高电平持续时间 \times 声速）/2。模块工作的时序图如下：



3. 小车驱动电机原理

小车采用直流电机驱动，电机的两个引脚产生电位差时会驱动电机转动，将两个引脚的电平翻转会使电机反转（后退），通过调整两个轮子的差速可以实现小车转弯。用一个 PWM 波信号来驱动电机，改变 PWM 信号的占空比可以改变电机的驱动速度实现小车的行进速度的调整。

5. 数码管动态扫描原理

本实验需要通过数码管来显示小车与障碍物之间的距离，数码管动态显示是将所有数码管的 8 个显示笔划“a, b, c, d, e, f, g, dp”的同名端连在一起，另外为每个数码管的公共极 COM 增加位选通控制电路，位选通由各自独立的 I/O 线控制，当单片机输出字形码时，所有数码管都接收到相同的字形码，但哪个数码管会显示出字形，取决于单片机对位选通 COM 端电路的控制，所以我们只要将需要显示

的数码管的选通控制打开，该位就显示出字形，没有选通的数码管则不会点亮。通过分时轮流控制各个数码管 COM 端，就使各个数码管轮流受控显示，这就是动态驱动。在轮流显示过程中，每位数码管的点亮时间很短，由于人的视觉暂留现象及发光二极管的余辉效应，尽管实际上各位数码管并非同时点亮，但只要扫描的速度足够快，给人的印象就是一组稳定的显示数据，不会有闪烁感。

四、实验步骤

1. 正确接线，在 keil 中建立工程

用杜邦线将单片机开发板与小车底板上的排针连接起来。

2. 调试测距模块，得到模块与障碍物之间的距离

首先定义好超声波模块的引脚，默认设置 $P2^0$ 为回波输出引脚， $P2^1$ 为触发输入引脚。

启动模块只需要给输入引脚输入一个 10us 以上的高电平信号。

为了计算高电平持续时间，需要开启一个定时器，默认使用定时器 0。

其中 EA 为总中断使能，TH0 和 TL0 分别为定时器 0 计数值的高八位和低八位，ET0 为允许定时器 0 触发中断。定时器 0 的主要作用为判断计数器是否溢出。在计数函数中，回波引脚 RX 为高电平时开启定时器 0，等待回波引脚 RX 为低电平时结束计数，并进行距离计算。

定时器 0 的中断服务函数用于判断计数是否溢出，如果溢出则手动将 RX 置为 0 结束本次计数。

Counter_overflow 为溢出标志位。

count 函数是距离计算函数，作用是将计数函数中定时器的计数值转化为实际的距离值，因为定时器 0 的计数数值的高八位与低八位是分别寄存在两个寄存器中的，因此首先将其转化为实际计数值，计算方式为将高八位寄存器的数值乘 256（即左移 8 位）再加上低八位寄存器的值，计数器的计数周期为 1us，通过计数器的数值即可计算出回波信号的持续时间继而计算得到距离。

测距模块的相关代码完成后，需要测试效果还需要将距离显示出来，此时需要调试并添加数码管的动态显示代码。数码管的动态显示可以通过另开启一个定时器来实现，此定时器中断的触发周期可以设置为 1ms，每次触发中断选择数码管的 1 位点亮。

将定时器 1 的初始装载值设定为 0xFC66 即可实现周期为 1ms 的定时器中断，CS 和 SS 分别为数码管的位选和段选引脚。

DispBuf 数组用于存放要显示的段选数据，预先定义好一个 Tab 数组存放数字和字母的位选信号数据，显示时只需要将 DispBuf 中的某一位从 Tab 中赋值即可。

此时即可实现测距模块的全部代码，可以在数码管上实时显示模块到障碍物的距离。

3. 调试电机，实现小车的运动。

先定义好电机的驱动引脚与使能引脚，这里默认设置 $P1^2, P1^3$ 为左电机驱动引脚， $P1^4$ 为左电机使能端， $P1^6, P1^7$ 为右电机驱动引脚， $P1^5$ 为右电机使能引脚。

将 PWM_EN1 置 1，PWM_IN1，PWM_IN2 分别设置为 1 和 0 或 0 和 1 即可实现左电机的正转或反转，右电机同理。

为了控制小车的运行速度，需要用 PWM 波来驱动电机，首先开启定时器中断，设置中断触发的周期为 1ms，定义一个计数变量 t 和 PWM 波的周期 SPEED_MAX 以及速度 Speed_A 和 Speed_B。在中断服务函数中，每次触发定时器中断将 t 加一，超过 SPEED_MAX 之后将其归零，若 t 小于 Speed_A 或 Speed_B 则使能电机，否则将使能端置 0 停止驱动电机。通过调整 Speed_A 和 Speed_B 的数值即可调整 PWM 信号的占空比，调整 SPEED_MAX 可以改变 PWM 信号的周期，设置合适的范围，使小车在距离障碍物过远时前进，过近时后退，通过一个判断语句即可完成。因为在实现数码管的动态扫描时已经开启了中断，因此可以将 PWM 驱动电机的程序在已有的中断中实现。

中断服务函数最后的判断语句是一个软件定时器的定义，SWTR 和 SWTV 为软件定时器的运行和溢出标志位。

4. 完成增量式 PID 算法

增量式 PID 需要保存最近的三个采样值，先定义 PID 算法所需要的变量，并对参数进行初始化，函数的返回值为 PID 输出的参数的增

量值。

5. 编写主函数，实现小车定位

完成各子模块后可以将其整合进主函数中，主函数首先需要对各个模块进行初始化，之后在一个循环中对距离进行判断，在合适的范围区间内停止或者启动电机。

6. 将程序下载进单片机，调试修改参数

下载完成后可以开始进行测试，根据测试情况改变 PID 初始化函数中三个参数的值以及距离判断门限数值，不断调试找到最优参数优化小车性能。

五、实验报告要求：

1. 结合系统设计，说明 PID 智能小车控制系统的基本工作原理。

超声波测距模块得到模块与障碍物之间的距离。将距离输入主函数，对小车定位，再通过 PID 算法确定改变小车运动状态所需的参数，将得到的参数输入电机模块实现小车的运动调节。在主函数里的速度数据输入显示模块。

2. 写出实验流程，获得仿真结果记录如下表；

比例 (Proportion) 值	积分 (Integral) 值	微分 (Derivative) 值	实验 现象	结果 分析
0.1	0.9	0.1	小	系

			车摆 动区 间较 大	统的 动态 响应 速度 较慢
0.05	0.9	0.1	小 车摆 动大 幅改 善	系 统动 态响 应有 所增 强
0.01	0.9	0.1	小 车摆 动区 间变 化不 大	超 调量 过强， 系 统 震荡
0.05	0.5	0.1	小 车摆 动区 间较 小	超 调 量减 小，减 小了 系 统

				震荡
0.05	0.1	0.1	小 车 摆 动 区 间 无 变 化 但 是 无 法 停 留 在 暂 停 区	系 统 稳 定 性 不 强
0.05	0.5	0.2	小 车 停 留 在 暂 停 区	系 统 稳 定

3. 对仿真结果和理论分析结果进行对比分析和讨论。

可以对输入加一个前置滤波器，使得进入控制算法的给定值不突变有一定惯性延迟的缓变量在增量式算法中，如果被控量继续偏离给定值，则这两项符号相同，而当被控量向给定值方向变化时，则这两项的符号相反。由于这一性质，当被控量接近给定值的时候，反号的比例作用阻碍了积分作用，因而避免了积分超调以及随之带

来的振荡，这显然是有利于控制的。但如果被控量远未接近给定值，仅刚开始向给定值变化时，由于比例和积分反向，将会减慢控制过程。为了加快开始的动态过程，我们可以设定一个偏差范围 v ，当偏差 $|e(t)| < \beta$ 时，即被控量接近给定值时，就按正常规律调节，而当 $|e(t)| \geq \beta$ 时，则不管比例作用为正或为负，都使它向有利于接近给定值的方向调整，即取其值为 $|e(t) - e(t-1)|$ ，其符号与积分项一致。利用这样的算法，可以加快控制的动态过程。

在 PID 增量算法中，由于执行元件本身是机械或物理的积分储存单元，如果给定值发生突变时，由算法的比例部分和微分部分计算出的控制增量可能比较大，如果该值超过了执行元件所允许的最大限度，那么实际上执行的控制增量将时受到限制时的值，多余的部分将丢失，将使系统的动态过程变长，因此，需要采取一定的措施改善这种情况。纠正这种缺陷的方法是采用积累补偿法，当超出执行机构的执行能力时，将其多余部分积累起来，而一旦可能时，再补充执行。

4. 本次实验的心得体会。

小车调节的方法主要在于 PID 参数和 $rang$ 的设定， $rang$ 根据实际需求设定，PID 参数在理解原理的基础上在实践中不断调节。同时增强使用 MATLAB 的熟练度