



西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

课程：计算机控制实验

实验项目：实验二      小车自动巡线

学生：郝世龙      学号：2171311028      班级：自动化 71

学生：田瑞峰      学号：2171311105      班级：自动化 71

学生：任泽华      学号：2171411498      班级：自动化 71

指导老师：景洲      联系方式：13720424008

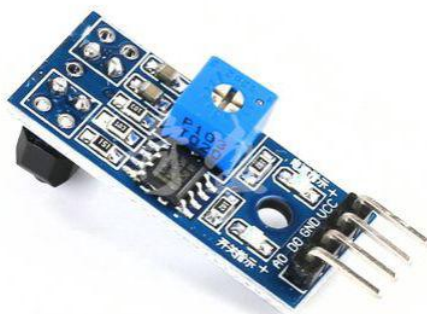
实验地点：西一楼 A304

实验时间：2020/7/9

报告提交时间：2020/7/19

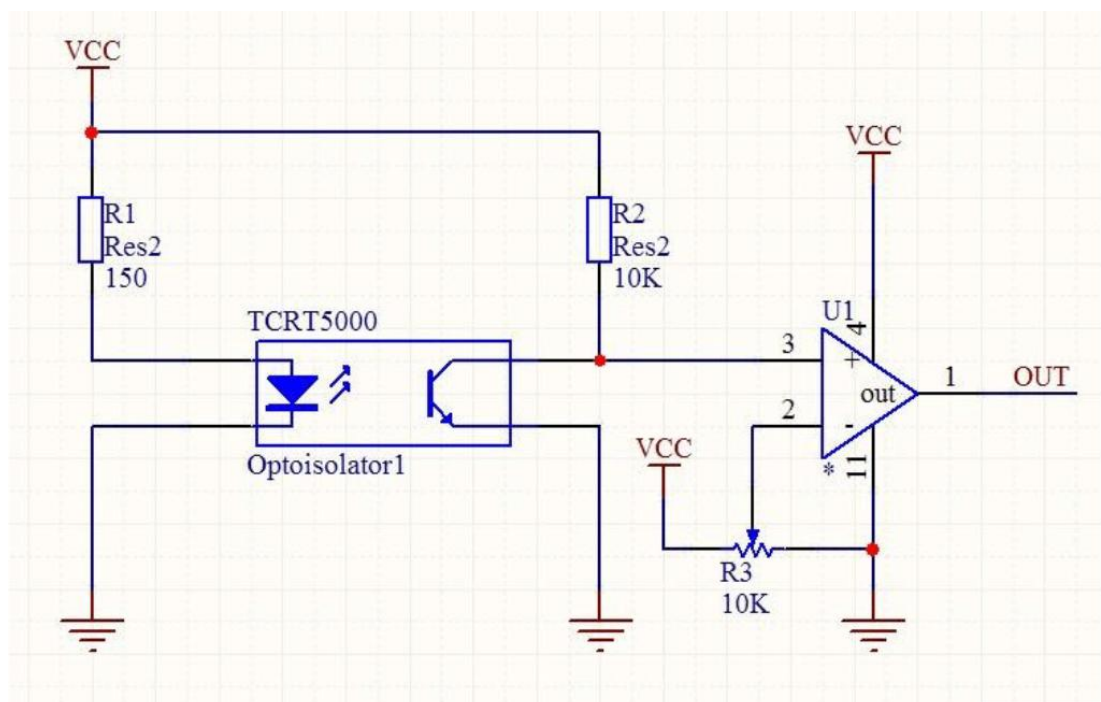
## 一、硬件框架及原理

### 1. TCRT5000 红外反射式光电传感器

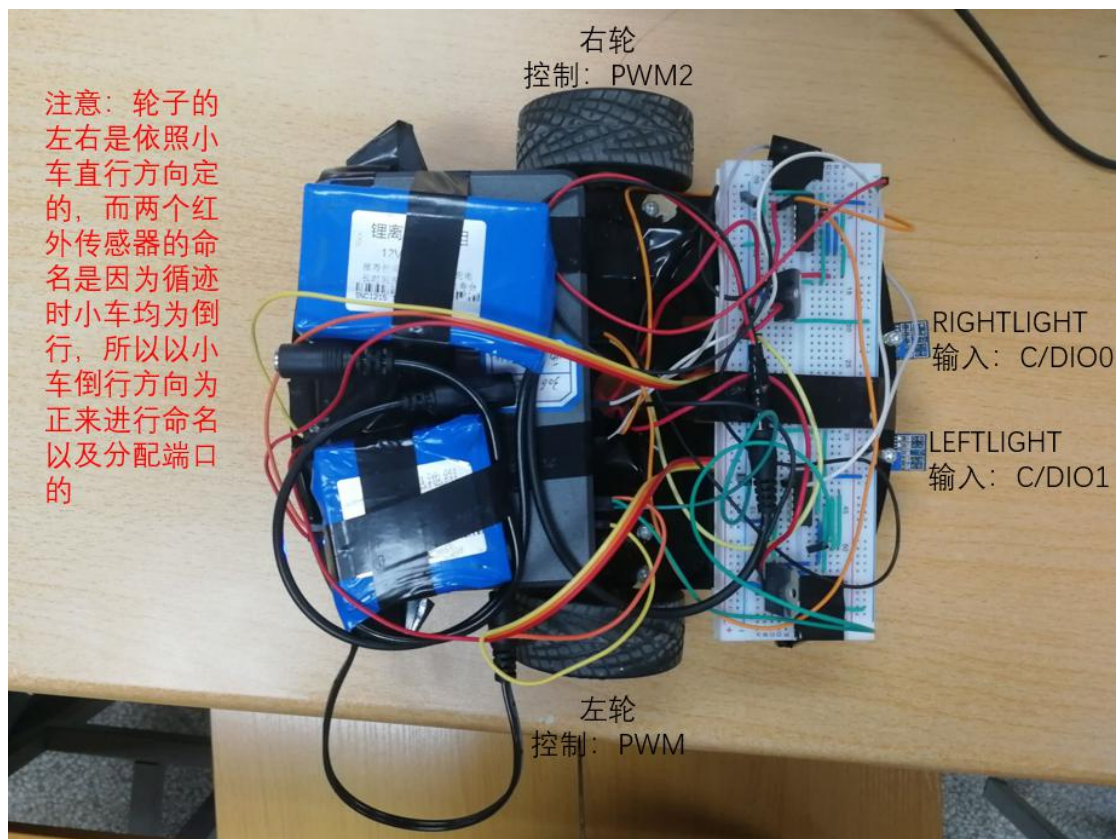


TCRT5000 传感器的红外发射二极管不断发射红外线，当发射出的红外线没有被反射回来或被反射回来但强度不够大时（指示二极管一直处于熄灭状态），光敏三极管一直处于关断状态，此时模块输出高电平；被检测物体出现在检测范围内时（指示二极管被点亮），红外线被反射回来且强度足够大，光敏三极管饱和，此时模块输出低电平。

硬件参考电路如下：



## 2. 连线图与说明



由于小车结构，两个红外传感器只能安装在相对于实验一来说小车前进方向的后部，所以在本实验中，小车相对于实验一来说实在“倒退”的。在后面框图的设计中也会有说明。

### 二、LabVIEW 设计过程

PS：实验二中我们主要有两种设计思路。通过比较两种设计思路结果我们选择了较佳的一种。

#### 1. 原理和设计分析：

小车前后直线运动和左右转向的原理和实验一中一致，在此不再赘述，此处主要针对红外传感器信号状态和对应控制进行分析。实验中，我们将红外传感器装在小车左右两侧，将黑色路径置于两传感器中间，希望小车夹着黑色路径完成循迹。所以设计如下：左传感器感受到黑色路径时，小车左转；右传感器感受到黑色路径时，小车右转。当两传感器同时感受到黑色路径或是感受不到黑色路径

时，说明此时路径宽于小车传感器宽度或是黑色路径完全被夹在两传感器之间，此时小车直行即可。

用真值表进行表示如下：

左侧传感器	右侧传感器	小车决策
T	T	倒车（正向意义上直行）
T	F	右转（倒车意义上左转）
F	T	左转（倒车意义上右转）
F	F	倒车（正向意义上直行）

## 2. 控制逻辑一：

控制逻辑说明中，若未特地说明，左转、右转均指为沿正方向观察意义下的左右，而不是沿运动方向观察的左转、右转。

本实验中控制逻辑一建立在上一实验的控制逻辑之上，保留了上一实验前进、后退和左右转向的逻辑控制，并在此基础上添加了传感器相关逻辑。

虽然我们保留了 **forward**，但是本次实验中由于仅有两个传感器装在车尾，只能探测后方道路轨迹，不可能出现探测前方道路轨迹，反而决定小车向前运动方向的逻辑。所以实际上此时 **forward** 只能始终为 **F**，令小车向后探测并沿路径运动。自由变量 **speed** 仍是给定小车基本的速度  $v_0$ ，但注意，本实验中 **left** 变量  $v_1$  仅代表转弯速度，恒为正值，不再依靠正负代表左右转，此时小车的左转、右转由传感器状态信息进行控制。且左转在前进状态下和后退状态下，均是右轮轮速大于左轮轮速；右转在前进状态下和后退状态下，均是左轮轮速大于右轮轮速，因次实验一的转向逻辑可以直接继续使用。

我们将左右两个传感器的状态组合分别记为 **00**（均未探测到黑色路径，直行），**01**（右侧传感器探测到黑色路径，右转（沿倒退方向看是左转）），**10**（左侧传感器探测到黑色路径，左转（沿倒退方向看是右转）），**11**（两侧传感器均探测到黑色路径，直行）。

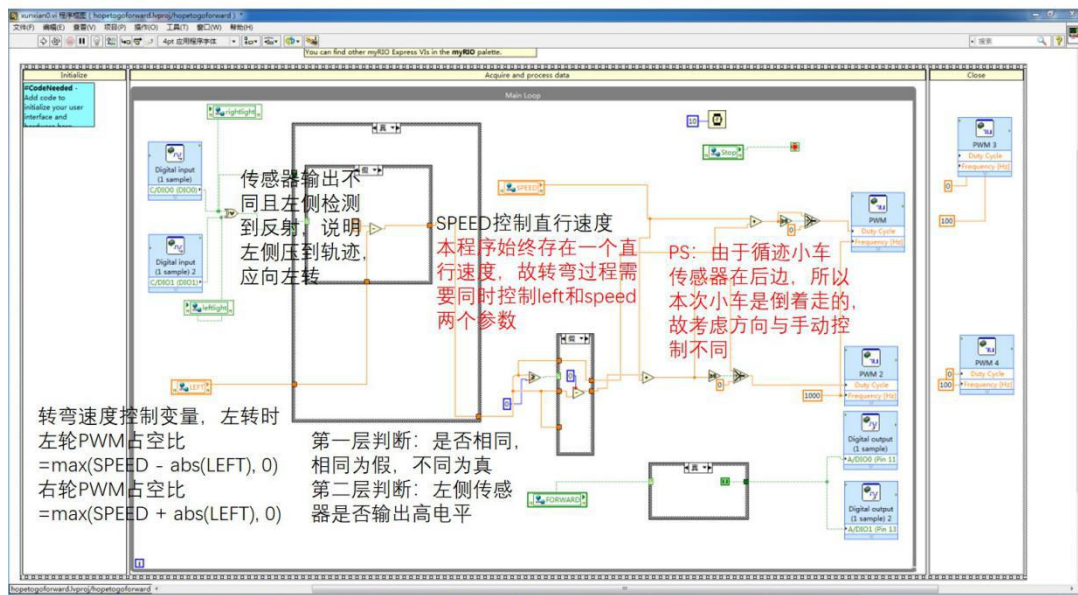
在逻辑设计上，我们首先使用异或逻辑判断是否需要转弯。两传感器异或值为 **0** 时，小车直线前进，两轮速度均为  $v_0$ ；异或值为 **1** 时，小车进入转弯状态，

需要再次判断 01/10 两种状态情况。此时我们再使用右侧传感器数值进行判定，当右传感器为 0，说明小车需要左转，即右轮加速左轮减速。当右传感器为 1，说明小车需要右转，即左轮加速右轮减速。

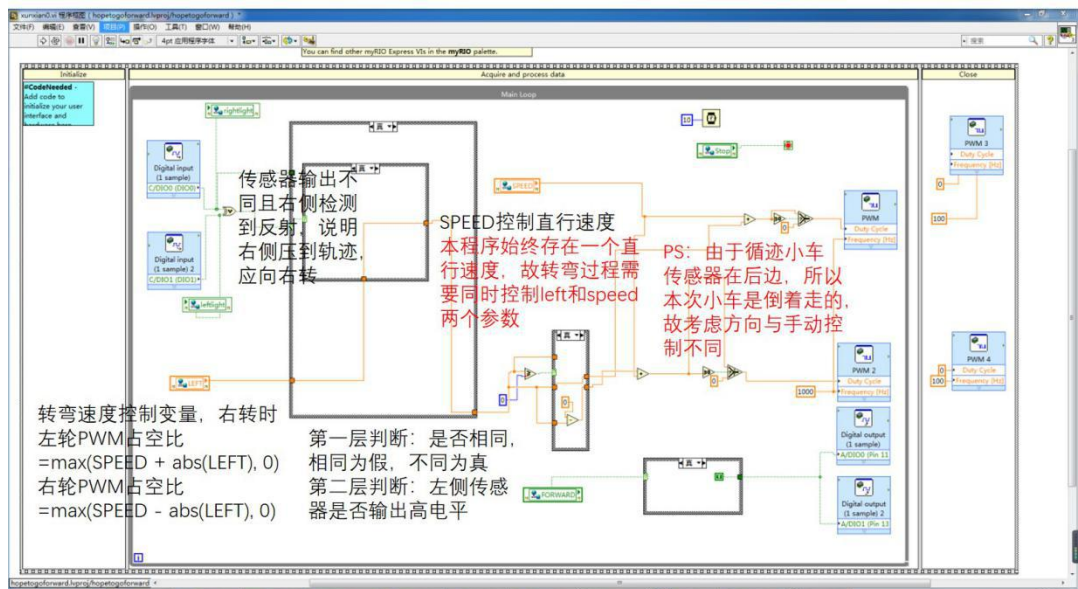
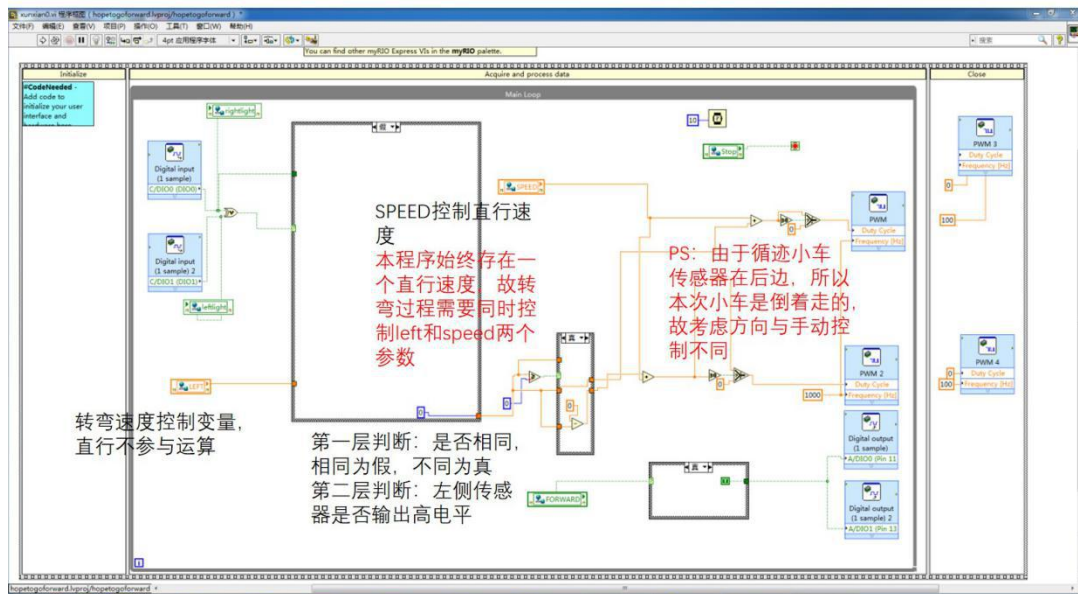
所以我们在异或之后的第二次判定中，当右传感器为 0，判定条件为假时，内部对为 left 取反，相当于实验一  $v_1$  的取负，最终左轮速度  $\max(0, v_0 - |v_1|)$ ，右轮速度为  $v_0 + |v_1|$ ，小车自行完成左转操作。当右传感器为 1，判定条件为真时，直接输出 left 数值，相当于实验一的取正，最终右轮速度为  $\max(0, v_0 - |v_1|)$ ，左轮速度为  $v_0 + |v_1|$ ，小车自行完成右转操作。同样的，在这种控制条件下，我们仍然可以依靠选择  $v_0, v_1$  的大小，令小车原地自转或者是在前进状态中进行转向。

通过这样的思想设计出程序框图，结果如下：

（多张是因为体现出判断框切换时候的结果）







### 3. 控制逻辑二：

在控制逻辑一中，我们选择 $v_0$ ， $v_1$ 大小不同时，小车在转弯状态时可能会存在直线速度，所以转弯时很有可能由于转弯半径过大而冲出轨迹。所以 $v_0$ ， $v_1$ 的大小在行进过程中就需要及时更改，以保证在不同大小的弯道都能顺利过弯。但是，这两个速度的相互配合实际上比较困难，在实际测试中寻迹小车的表现也确实不够良好。

所以我们在第一个控制逻辑的基础上进行改进，提出第二个控制逻辑，即将转弯和直行速度分别单独控制。其中传感器的状态组合与第一个控制逻辑完全一

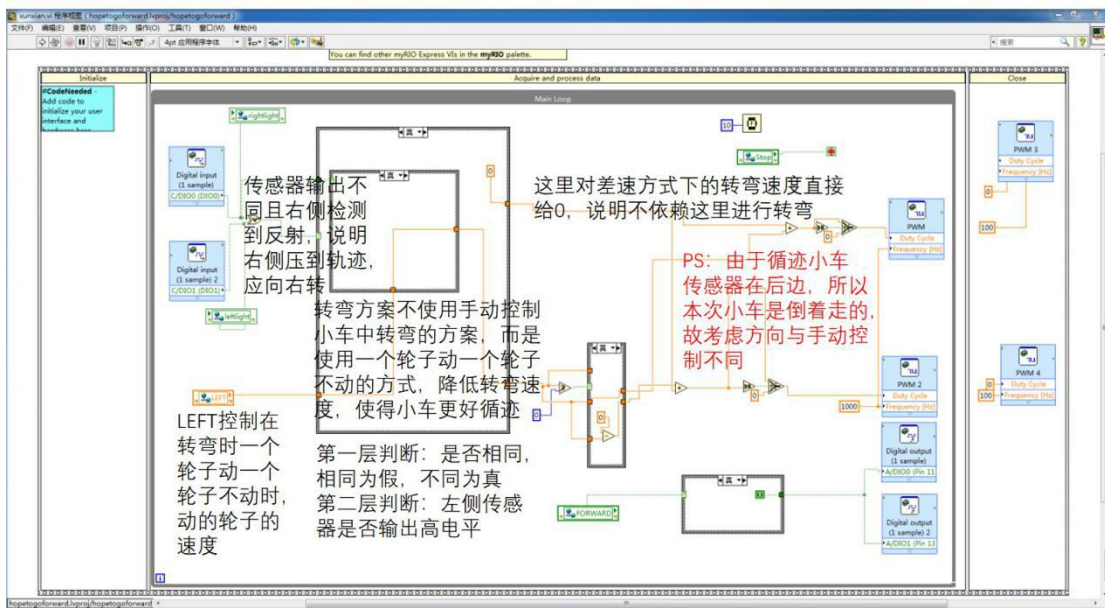
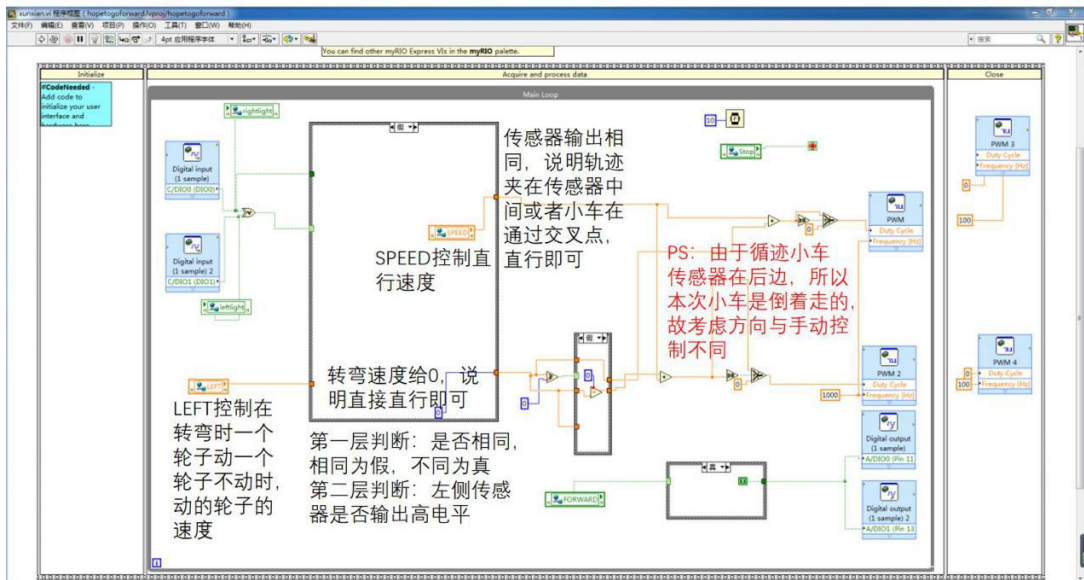
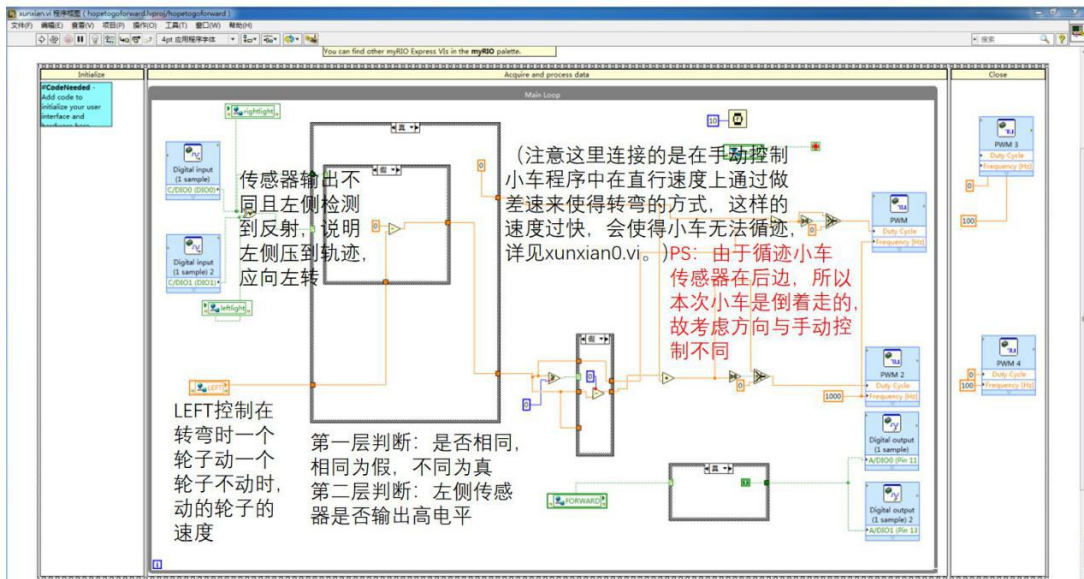
致。

在逻辑设计上，我们仍然首先使用异或逻辑判断是否需要转弯。当两传感器异或值为 0 时， $speed$  为设定值  $v_0$ ，转弯速度为 0，两轮轮速相同，小车直线前进；而当异或值为 1 时，小车进入转弯状态。此时给定直线速度为常量 0，转弯速度为  $v_1$ 。同时，继续判断 01/10 两种状态情况确定转弯方向。仍然使用右侧传感器数值进行判断，当右传感器为 0，说明小车需要左转，即右轮加速左轮减速。当右传感器为 1，说明小车需要右转，即左轮加速右轮减速。注意到，由于有  $\max(0, v_0 - |v_1|)$  必然为 0，所以转弯过程中必然是一轮轮速为 0，另一轮轮速为的情况。

所以我们在异或之后的第二次判定中，当右传感器为 0，判定条件为假时，内部对为  $left$  数值取反，相当于实验一  $v_1$  的取负，最终得到左轮速度为 0，右轮速度为  $v_1$ ，小车原地自转完成左转操作。当右传感器为 1，判定条件为真时，直接输出  $left$  数值，相当于实验一  $v_1$  的取正，最终得到右轮速度为 0，左轮速度为  $v_1$ ，小车原地自转完成右转操作。

这样，小车相当于将转弯过程拆分为直线行进+角度旋转，防止了因转弯半径设置不良导致冲出赛道的问题。而从控制角度来说，我们也仅需分别给定直线运动速度和转弯速度，而不必考虑这两个速度的匹配和耦合的问题，简化了对操作者的控制要求。

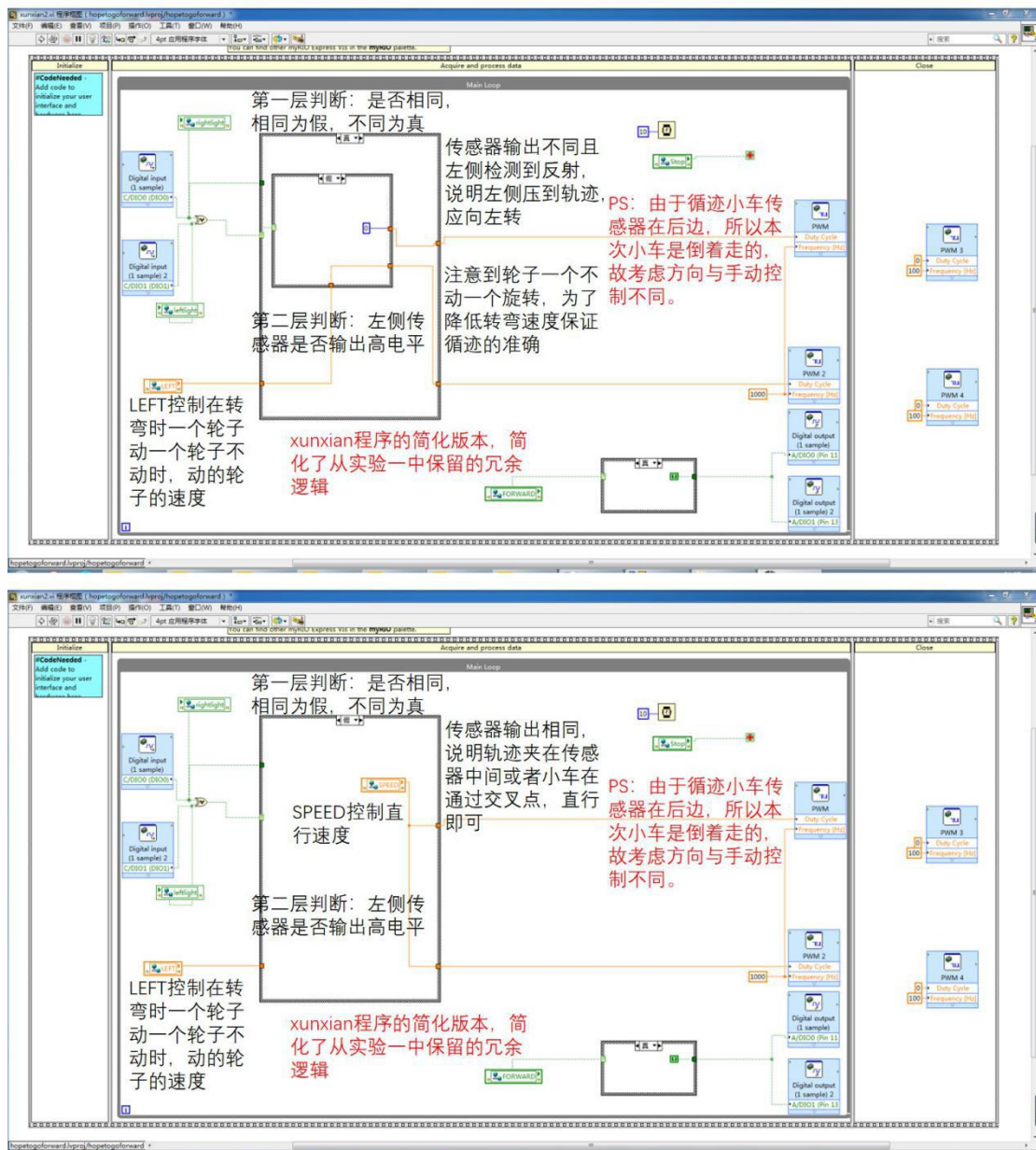
修改了转弯逻辑后的程序框图以及程序框图的解释与分析如下所示

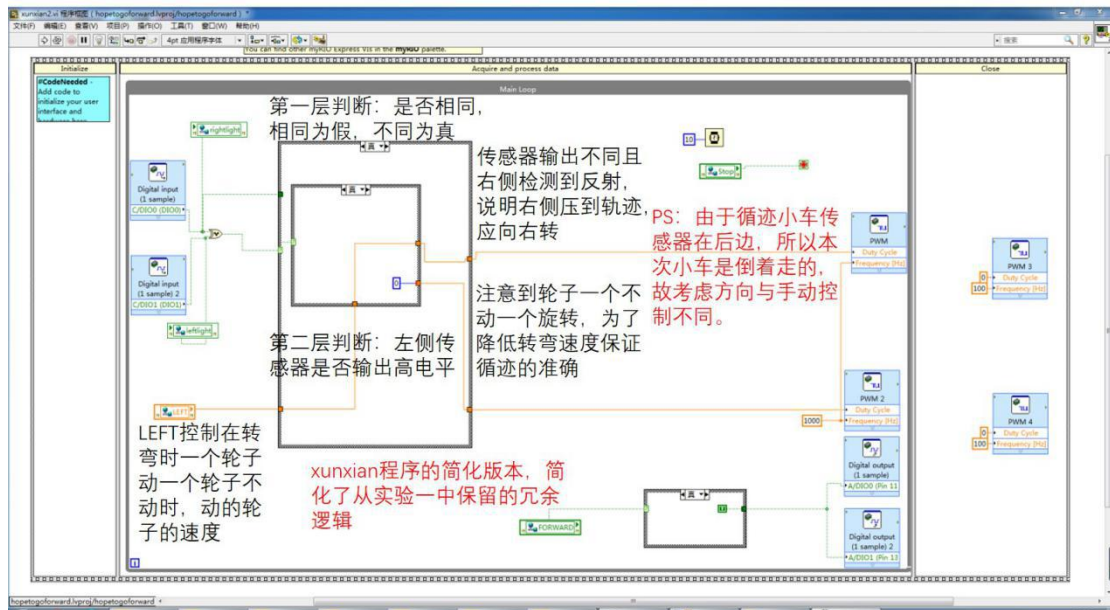




## 4. 精简逻辑（针对控制逻辑二）

由于我们的工程是在实验一的基础上修改而来的，其中有许多不完善、不合理的地方，而且在小车方向对调以后这些控制逻辑显得冗余，为了保证小车能正常运行，我们不得不添加了许多类似于“补丁”的逻辑，虽然可以实现要求，但是对于工程来说显得冗余、复杂。所以我们在逻辑二的基础上进行了逻辑简化，在保证不影响功能的基础上实现小车的自动巡线，最终取得了不错的效果。





### 三、Data dashboard 设计过程

在本次实验中，我们保留了实验一控制面板的大部分内容，另外新加了两个显示元素，分别用来显示两个传感器的状态，便于后续程序调试和传感器精度条件，在实时控制时也能很方便地观察传感器的状态。之所以保留速度控制和转弯控制，是为了在小车通过交叉点和转弯时能够进行一定的人为干预，即调整转速和轮胎转速差，实现自动循迹的有效补充。

并且设计的面板最好能够很好进行红外线传感器的调试，所以显示出红外线传感器的状态是必要的，并且显示出红外线传感器的状态便于判断小车是逻辑出现了问题还是传感器的灵敏度问题，从而很好为调试服务。

下面是我们设计的 Data dashboard 面板：



#### 四、控制参数的选取过程

控制参数的选择上，循迹小车的参数选择比较重要，因为小车的速度决定了小车的循迹效果。小车速度如果过快，可能传感器还没有响应当前状态小车就已经冲过去了，导致出现循迹的问题。但过慢的时候会导致交叉点处小车没有冲过交叉点而是走闭环路线，并且可能在道路不是很平的情况出现停车现象，所以控制一个合理的速度是有必要的。

在参数的选择上，我选择前进速度 **SPEED** 为 **0.23**，而选择转弯速度 **LEFT** 为 **0.3**，注意我们使用的是第二个控制逻辑，所以转弯时的逻辑是一个转动一个不转。在这样的速度下，小车会很好循迹并且不会出现跑出轨道的问题。

但是在较难的路线里面，比如带有交叉点的路线里面，因为我们使用的是红外传感器，不像视觉传感器一样有预判前方路况的功能，所以只能使用手动加速的操作来冲过前方交叉点再将速度调回来，所以这就需要有能够调节直行速度的能力。在平时巡航时我们的直行速度 **SPEED** 赋 **0.23**，即直行时两个电机占空比均为 **0.23**，在冲过交叉点时 **SPEED** 赋 **0.26**，然后再改回来保证巡线的准确性，这样便能达到较好的效果。

#### 五、遇到的问题与解决方法

##### 1. 转弯时使用第一个逻辑老是出现冲出弯道的情况

转弯时，我们沿用手控小车的转弯程序，但实际上发现老是会冲出弯道，经

过判断逻辑我们发现，实际上是因为原来的第一个逻辑转弯时有直行成分，导致转弯速度过快被甩出轨道。所以我们采用第二个逻辑，转弯时一个轮子不动一个转，这样便能很好循迹。

### 2. 红外线传感器不能很好检测到胶带

由于开始用传感器的时候不知道传感器的灵敏度可以调节，所以出现了问题，在询问了老师之后，我们用改锥修改红外线传感器灵敏度，使得红外线传感器能够很好区分出胶带和地面，从而使得循迹更加准确。

### 3. 小车不能很好通过交叉点

在较难的路线里面，比如带有交叉点的路线里面，因为我们使用的是红外传感器，不像视觉传感器一样有预判前方路况的功能，就会导致小车走闭环路线。在分析之后，我们发现可以使用在交叉点加速的方法来完成这个目标。所以我们在小车临近交叉点的时候手动对小车进行直线加速，在通过之后再调节回来防止小车在后面的循迹过程中出现问题。经过测试，效果较佳。

## 六、实验总结与建议

这次实验我们利用了实验室的红外传感器，来实现小车的自动循迹。核心逻辑看起来很简单，就是检测到哪边遇到黑线就往哪边转，可是实际调试起来还是有这样那样的问题。这些问题包括但不限于：控制速度的大小选择、转弯的幅度控制、小车颠簸造成的断线排查、红外传感器灵敏度的调节等等。在这个过程中我们真切地感受到调试系统的困难，多么简单的系统都是如此，更何况复杂的实际系统。而在排查线路的过程中，我们对于小车的控制逻辑有了更深入的了解，看来问题是促使人学习的最大动力。在传感器灵敏度调试的过程中，我们反反复复进行了比对和调整，最终使二者的灵敏度达到近似，在使用螺丝刀进行调节时，我们体验到了精密设备调节的困难和精细，只有真正沉下心来才能调到最佳效果。