

智能小车任我行 ——DRS3100 高性能寻迹器的寻线开发技巧

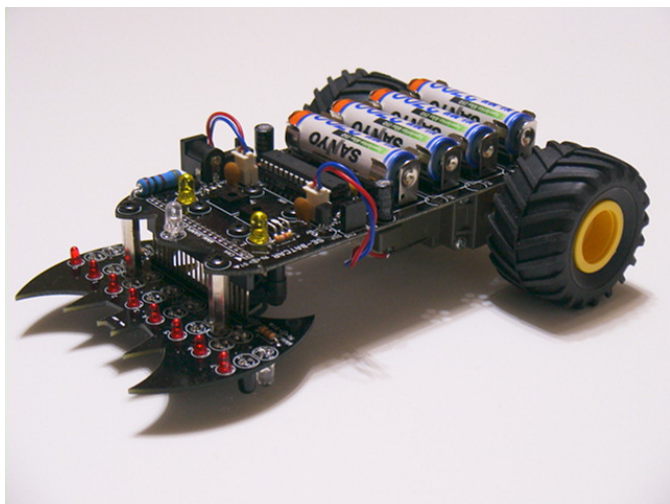
文/杜洋

【颠覆性创新的寻迹器】

大家好，一直以来我都在设计创新的电子小制作，有各种时钟、各种光立方，还有各种精简创新的小制作。可能是我年纪大了、创新能力不够了，感觉在小制作方面真的想不出更有趣的东西了，在自己现有的设计上再创新更加困难。但电子制作的创新是我的乐趣所在，若没有创新，不做出新东西，我就全身不得劲儿。于是我想来想去，还是决定进入新的领域从头开始，翻开新的空白页，给自己全新的挑战。在众多与电子技术相关的领域中，智能机器人是最有吸引力的。我想不仅是我，很多人都喜欢，近期的《无线电》杂志上可刊了不少机器人的文章。再看看机器人发展的现状，虽然大家都在玩，可是玩得好、玩得精的并不多。另外国内的图书中也鲜有机器人入门的指导性图书。结果就是大家想玩机器人，却不知道如何入门，怎么设计开发。从技术上看，现在的文章和制作多是基于现有传感器和机电部分的重新组装。而没有在技术上的提升。结果就是大家制作的机器人大同小异，性能都差不多。若是用这种机器人参加比赛，也不会有根本上的优势。

在我看来，机器人这个东西是由三大部分组成的。首先是机电部分：这是要有电动机、舵机之类的机构让机器人动起来。不论是两轮小车还是机械手臂，一款没有机械运动的机器人只能算是单片机开发板。有了运动其次是传感器，传感器是感知环境状态的重要组成部分，没有传感器的机器人只能在通电后以一个程序化的动作运动，不能感知环境变化而做出相应的反应。这样的东西只能叫电动玩具。当然《无线电》杂志上发表过一系列没有传感器的机器人，但那些制作可为中小学生学习机器人爱好打下基础，也是很好的入门级机器人。机器人的最后一个部分是智能处理。我说的智能可不是人工智能，那是能让机器人有灵魂的高科技。我说的是可以根据各种传感器数据及预先设计好的原则，自行做出判断并执行。没有智能的机器人就好像僵尸一般到处乱窜。只有如上的三大部分同时具备的机电装置才算真正意义上的机器人。当然你也可以有自己对机器人的理解，机器人的概念可以有多种。

那么，我若是想涉足机器人，在这个领域有所创新，一切都要从头开始。如果在现有的小车平台、传感器和机电部分的基础上设计，可发挥的余地非常小。必须放弃传统才有创新，于是我先从比较在行的传感器部分入手，把现有的各种传感器重新设计，做出更高性能的新产品。只有各部件的创新才能是机器人整体的创新。于是我想从智能小车最常用的寻迹传感器开始。寻迹传感器（以下简称寻迹器）是在一些场地上让机器人小车沿着轨道线行走的传感器。寻迹器必须能分辨轨道线与背景，同时感知轨道线位置，在轨道线转弯和岔路时准确识别并转弯。业内一般有两种设计方案：红外反射和激光反射式寻迹器，其中红外反射是最常用的一种。标准的红外反射寻迹器是通过多组红外线发射管发出红外光，光线在照到黑色轨道线和白色背景板时反射强度有所不同，利用一组红外接收二极管接收光线，便可判断出轨道的位置。如此设计的寻迹器在市场上有很多，【照片 1】就是一台装有 8 个采集点的红外反射式寻迹小车。

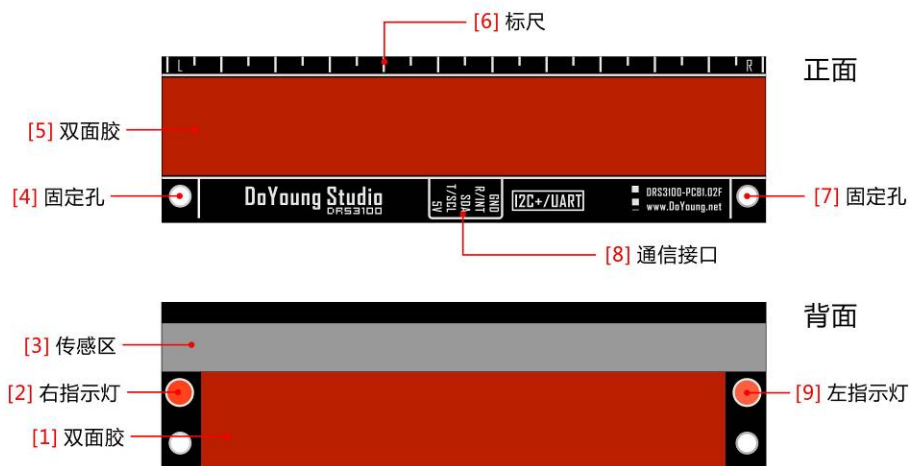


【照片 1】装有传统寻迹器的小车

目前大多数机器人爱好者都使用红外反射式寻迹器，我也曾研究过它，并发现了现有产品的诸多问题。首先是传感器的采集点太少，最多的也只有 8 个（超过 8 个的极少）。采集点少的后果是小车在行进时会左右摇晃，看上去很笨拙。加之采集点少就无法判断复杂的路线图，就好像相机的像素低就拍不清景物一样。而且万一某个采集点失灵，也没有后备的采集点。综合以上，我要设计的新寻迹器的采集点要远远多于 8 个。增加采集点就优秀了吗？不行，还要解决光线变化的问题。要知道红外线传感器很容易受到外部环境的干扰，能发光发热的东西都会释放出红外线，如阳光、白炽灯。家用电器的遥控器还会发出与传感器属性一样的红外光，多个小车之间的红外线也会相互干扰。所以必须从根本上解决干扰问题，保证在任何环境下都能让寻迹器稳定工作。不过就算解决了干扰问题，寻迹器的调试也是一件麻烦事。一般的寻迹器上会有多个电位器，用来调节判断轨道及背景的光线阈值。每次小车启动前先得用螺丝刀调节电位器，在不同环境下调节的值不同。麻烦不说，小车在运行时一旦光线变化了，就要停下来重新调节。这样性能的寻迹器在我看来实在太原始、太麻烦了。我要设计出能自动适应任何环境的寻迹器，不论光线怎么变都无影响。在以上信条的指引下，经过 50 多天的努力。终于设计出一款颠覆性的高性能寻迹器，DRS3100 就是它的终身型号。



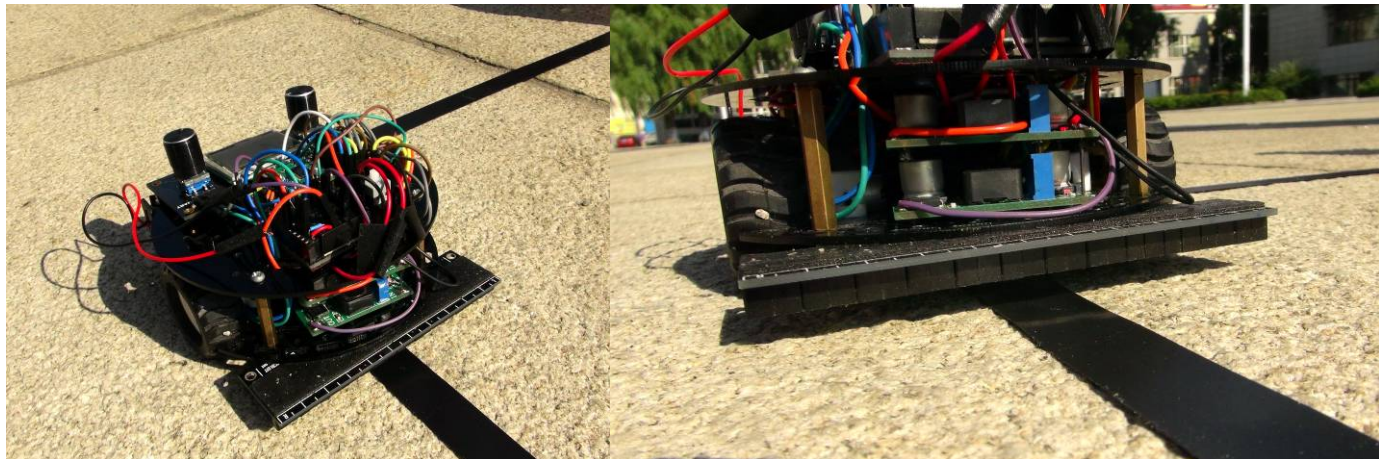
【照片 2】DRS3100 的外观



【示意图 1】DRS3100 的部件介绍

DRS3100 虽然也使用红外反射的寻迹原理，但与之前的设计有着本质的区别。传统寻迹器是多个独立的采集单元，而 DRS3100 内部集成了一块单片机，把所有采集单元的数据汇总处理。在汇总的同时并没有局限在物理采集点上，而是增加了算法，将采集点扩展到 139 个，使得寻迹器的分辨率达到 0.85mm。也就是说轨道线移动不到 1mm，DRS3100 都能精准的发现。因为分辨率的提高，DRS3100 可以判断出传统寻迹器无法探测到的轨道形状及轨道宽度。大家都知道传统寻迹器能判断 T 形和十字形路线，而对 V 形、米字形、Y 形却无能为力。所以在寻迹小车比赛中也鲜有这些路线，不过 DRS3100 的超高分辨率几乎能判断任何路线。同时为了兼容传统的寻迹器使用者的习惯，我们依然保留了 8 点、24 点的低分辨率输出，但我不建议你使用它们。

为了测试 DRS3100 在强光变化情况下的稳定性，我找了一个阳光强烈的下午，在广场的水泥地面上测试寻迹器。在使用中发现，只有当阳光斜射入寻迹器下方的地面，DRS3100 才会失灵。而用一片挡板把寻迹器罩上，就又能在强光下稳定工作了。而在阴天或阳光不强的室内，小车的寻迹没有任何问题。另外寻迹器独特的处理算法还让它能轻松适应不同颜色和材质的背景地面。我在水泥地、大理石、地板和比赛用的纯白地面上都测试过，结果 DRS3100 来者不拒。至此我们迈出了机器人创新的第一步，一款高性能寻迹器问世了。



【照片 3】寻迹小车在阳光下及水泥地面上仍能稳定工作

【特性】

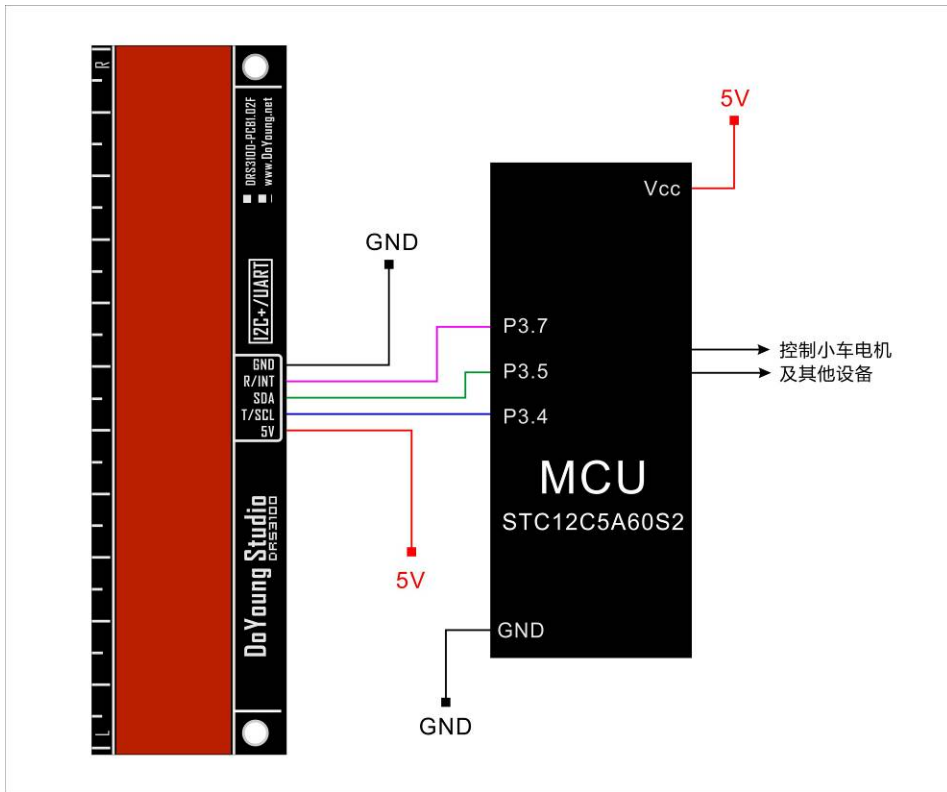
- 高精度：具有 139 个采样点，精度可达 0.8mm。
- 高性能：可识别 T 形、十字、Y 形、V 形、断线、并行双线、三线、四线、五线。
- 高分辨：可识别不同颜色和图案的背景，适应各种寻线背景。
- 全自动：无需手动设置参数，自动识别并适应环境。
- 易操作：创新的数据压缩协议，丰富的设置内容。
- 易设置：连接电脑，用软件轻松设置 I2C 地址。
- 高速度：4mS 采集时间，可以达到高速实时采样。
- 抗干扰：不受环境光线干扰，允许距地距离波动。
- 兼容性：标准 I2C 总线及 UART 串口通信，可直接连接电脑调试。
- 小体积：尺寸为 111.6*30.8*9.0mm。
- 低功耗：工作电流最大 30mA。

【DRS3100 的使用】

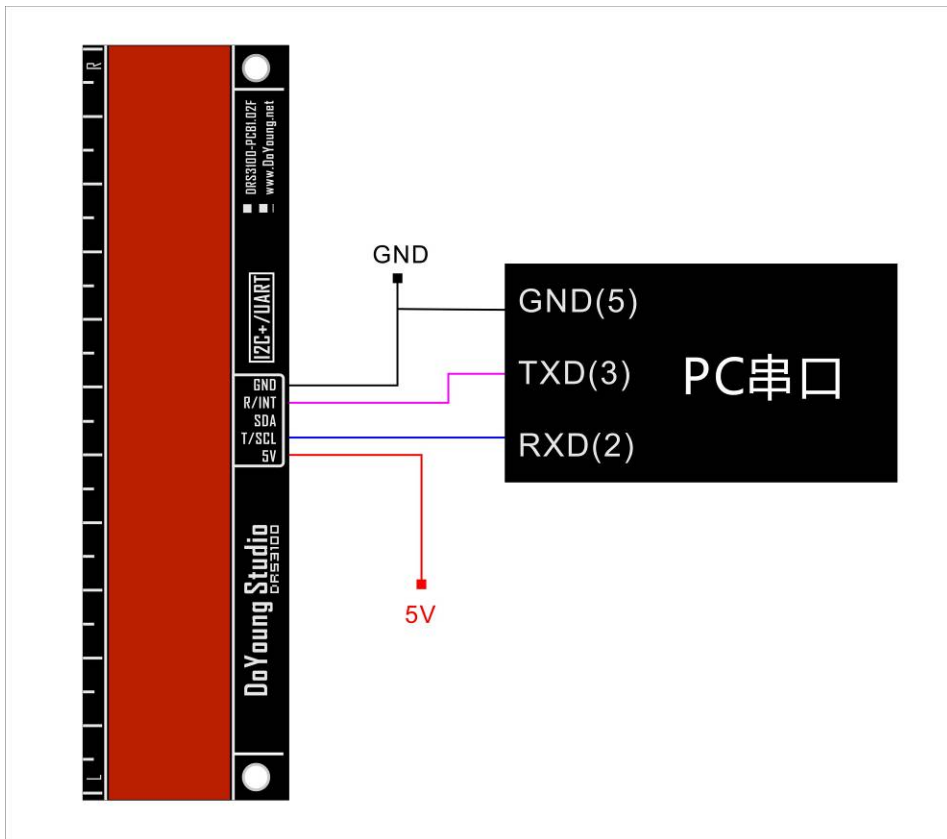
DRS3100 开发完成，下一步就是把它应用在小车平台上。第 1 步是把 DRS3100 固定在小车前端。安装非常简单，可用螺丝固定，也可用双面胶粘贴。安装好的寻迹器应与地面保持 15mm 的距离，因为 DRS3100 与地面之间的有效距离是 5mm~20mm，这样即使地面有起伏也能稳定寻迹。

第 2 步是硬件连接。DRS3100 具有两种连接方案，最常用的是连接到单片机的 I2C 总线上，作为标准的 I2C 从设备使用。另外我还设计了一个 INT 中断输出引脚，DRS3100 内部设有 2 个轨道线边界阈值，当小车前行时偏离轨道，移出了其中任何一个阈值，INT 引脚就会变成低电平，提醒单片机来处理小车出轨的问题。有了这一功能，单片机就不用实时扫描寻迹器，而是处理其他事情并等待中断即可。DRS3100 除了与单片机连接，还能连接电脑。把 DRS3100 连接到电脑串口上，即可在电脑屏幕上显示出 139 个采集点的实时状态。一会我们就利用这一功能来分析各种轨道路线的

判断方法。

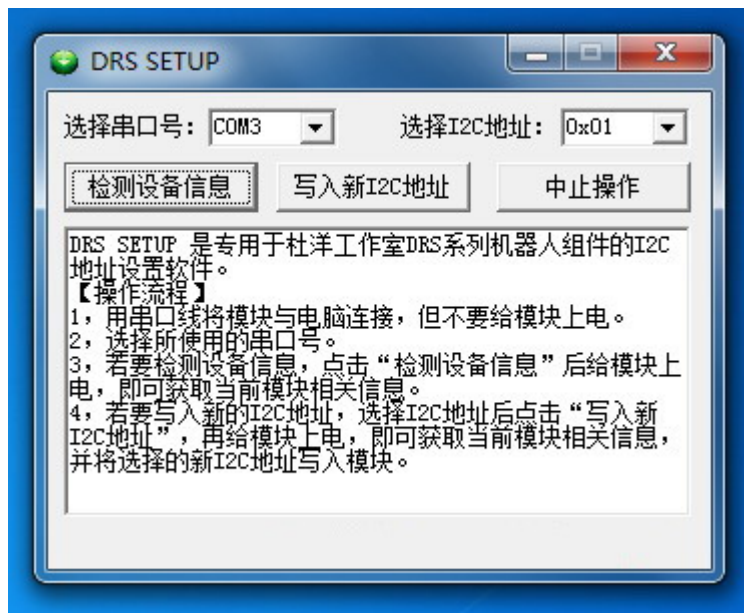


【电路图 1】DRS3100 与单片机连接的电路原理图



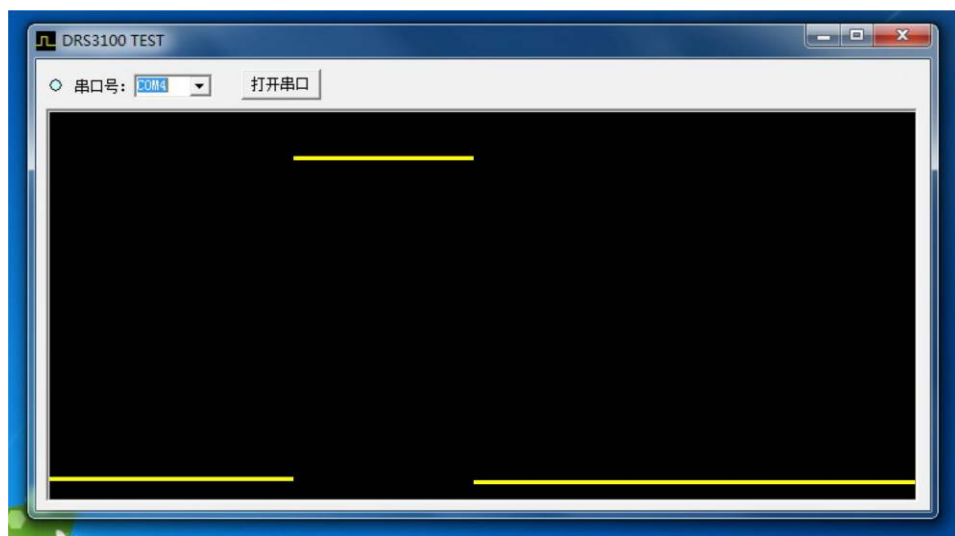
【电路图 2】DRS3100 与电脑串口连接的电路原理图

第 3 步是 I2C 地址的设置。众所周知，悬挂在每个 I2C 总线上的从设备必须有一个从机地址。常见的是在硬件上通过跳线设置。为了精简的设计，DRS3100 是在软件上设置地址的。打开 DRS SETUP 软件，软件界面如【界面图 1】所示。把 DRS3100 接到串口上，选择正确串口号和希望设置的 I2C 地址，点击“写入新 I2C 地址”按钮，然后给 DRS3100 启新上电，几秒钟后地址即可设置完成。



【界面图 1】DRS SETUP 软件

第 4 步，把我们提供的 DRS3100 驱动例程（可在《无线电》网站上下载）写入单片机，我是以 STC12C5A60S2 型单片机为例，相信大家对这款芯片并不陌生。在程序中需要修改和注意的是 I2C 总线所连接的 IO 接口定义，还有 I2C 总线地址要与从设备地址对应才能读到数据。为了方便直观地让大家调试寻迹器，我们设计了一款名叫 DRS3100 TEST 的软件，如【界面图 2】所示。它可以在电脑屏幕上实时显示出寻迹器 139 个采集点的状态。使用 DRS3100 TEST 可以很直观地了解 DRS3100 的性能和面对各种路线时的采集点状态。接下来就以压缩数据的处理为例，利用 DRS3100 TEST 的直观界面，说说各种轨道线的判断方法吧。

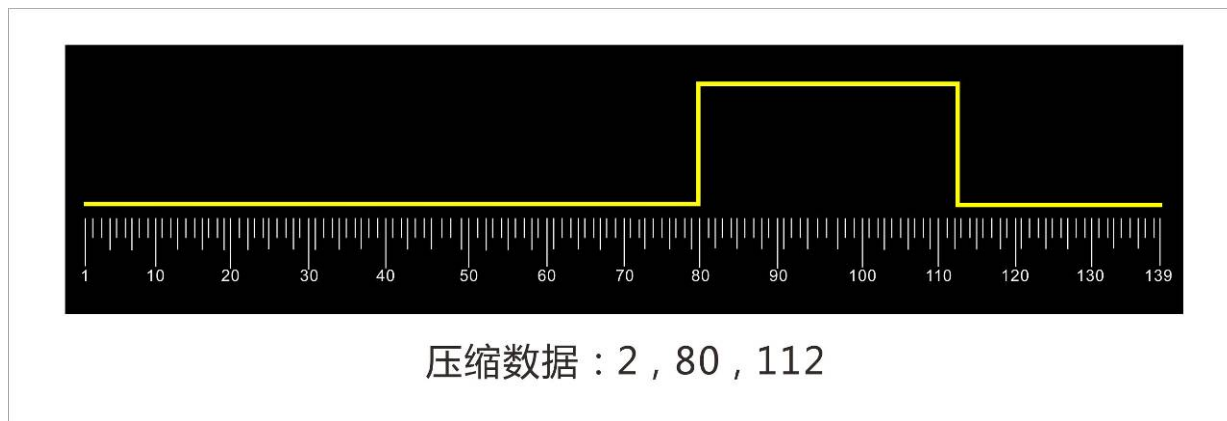


【界面图 2】

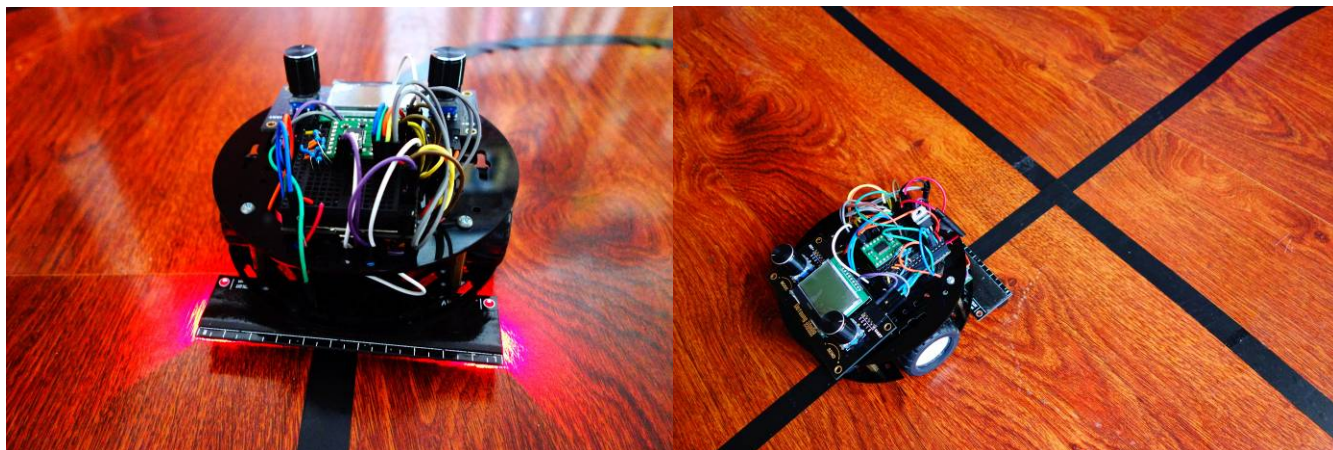
【DRS3100 的开发技巧】

什么是压缩数据呢？传统寻迹器因为采用较少的红外单元，每一路的数据独立输出。而 DRS3100 最高输出 139 个采集数据，若是独立输出要 139 条数据线。就算你真的接出这么多线，单片机也没那么多 IO 接口。于是我们使用当下最流行的 I2C 总线通信方式，只需 2 条数据线即可通信。在程度处理上，如果是读出 139 个采集点的状态（低电平 0 表示背景，高电平 1 表示轨道），那在处理上也相当麻烦，需要 18 个字节存放数据，还要花时间处理它们。为了减少开发难度，我们设计了“压缩数据”的输出。因为轨道相对于背景是比较窄的，139 个采集数据中会出现与轨道宽度对应的一串“1”（高电平，轨道），而这一串“1”的两侧则都是“0”（低电平，背景）。压缩数据就是给出了这一串“1”两端在 139 个采集点中的位置。这样每条轨道只用 2 个位置数据（2 个字节）就能表达了。

在 DRS3100 输出的压缩数据共有 2 个组成部分，即“标记数量”和“标记位置”。“标记数量”是在整个压缩数据中的第一个字节，它表示接下来会有几个“标记位置”，其实也就是表示电平反转的次数。比如寻迹器没有发现轨道线，即 139 个点全为“0”（低电平），那么“标记数量”就是 0，即没有电平反转。如果发现了一条轨道线，那么标记数量就是 2，因为轨道线的两端即是 2 次电平反转。如果是 2 条轨道线，“标记数量”就是 4。后面的“标记位置”正是给出电平反转在 139 个点中的位置所在（左起至右）。例如【示意图 2】中的状态，轨道两端分别是 139 个点中的 80 和 112，那么完整的压缩数据输出为“2, 80, 112”（十进制），其中“2”是标记数量。DRS3100 最多能保存 10 个标记位置，即 DRS3100 可同时处理 5 条轨道线。借此你可以设计出多轨道并行或更有创意的新轨道路线设计。全新的寻迹器给出寻迹小车新的玩法，让机器人爱好者有更多的发挥空间！

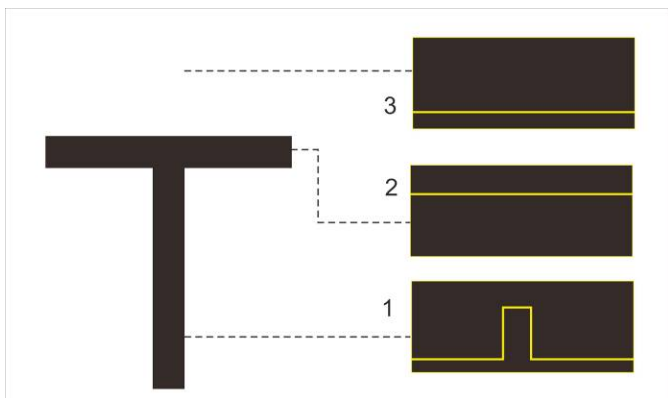


【示意图 2】压缩数据输出的举例

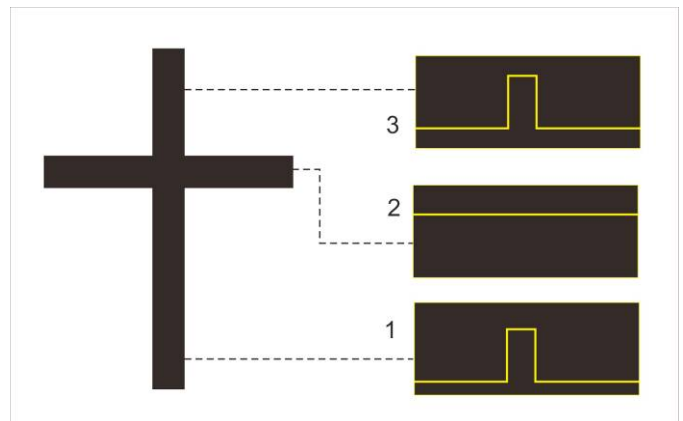


【照片 4】寻迹小车在走各种轨道路线

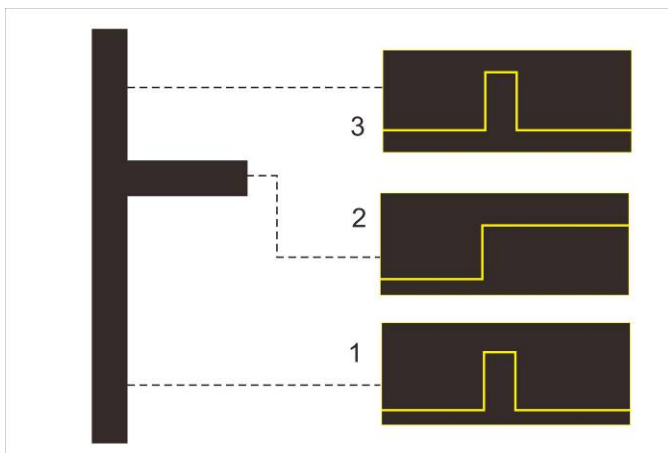
下面我们来研究一下 DRS3100 如何判断各种复杂的轨道路线。之前我说过 DRS3100 可以识别各种复杂的路线，只要线间距不小于 4mm，轨道线宽度不小于 8mm。下面我们用 T 形、十字形、V 形、米字形和 Y 形路线来研究 DRS3100 压缩数据的特征。首先最常见的是 T 形路线，小车走到 T 形路线时会有 2 种情况，小车可能面临左右转向的选择，见【路线图 1】。也可能是前进或右转的选择，见【路线图 2】。所以需要做出 3 步采样然后判断。如小车在左右路线选择时，未到达路口（1）时 DRS3100 读出正常的单轨道数据。到达路口（2）时，读到的数据是全为“1”（高电平）。超过路口（3）时，因为没有路线，读到的全为“0”（低电平）。这样 3 步即可判断出左右路线选择了。如果是前行或右转路线，则是在未到路口（1）和超过路口（3）处都是正常单轨道数据。在路口（2）处是有一半采集点为高电平。再来看十字形路线，见【路线图 3】。在未到达路口（1）和超过路口（3）处都是正常单轨道数据，到达路口（2）处则是全为“1”（高电平）。



【路线图 1】第 1 种 T 形路线



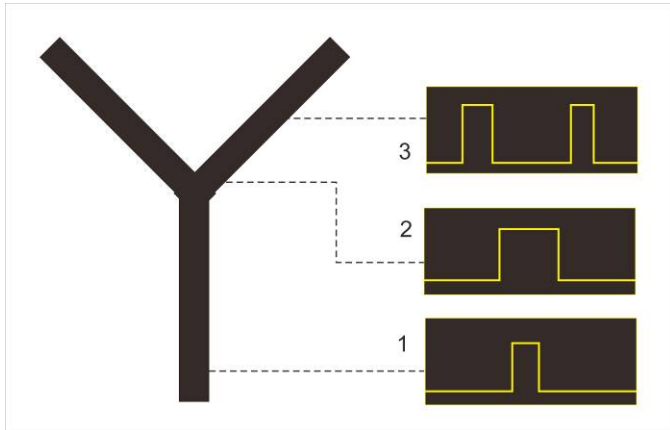
【路线图 3】十字形路线



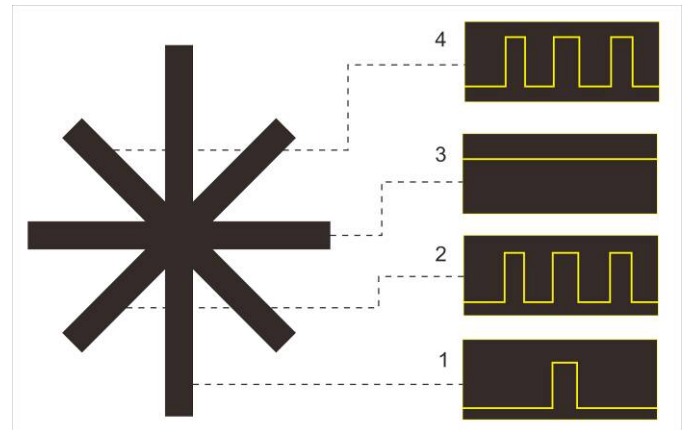
【路线图 2】第 2 种 T 形路线

以上 3 种都是较常见的寻迹路线，可以说是寻迹器的基本功。如果这 3 种路线都不能判断，那也算不上寻迹器了。不过要想成为高性能寻迹器，则还要能判断更复杂路线才行。先试试 Y 形线，见【路线图 4】。其实就是 T 形线的变形。不过数据处理上还是有差异的。Y 形路线在未到达路口前（1）是正常单轨道数据，到达路口（2）时，轨道逐渐变宽。超过路口（3）时数据显示出两条轨道线，并且不断远离。当 3 次采样发现这一特征时，小车就能做出判断，转向左侧或右侧的轨道继续前进。接下来是 V 形线，见【路线图 5】。V 形线其实就是单轨道的转弯，只不过转角大于 90 度。这时用 90 度的转弯判断程序已经不行了，在未进入路口之前，寻迹器就应该发现 V 形转弯的前兆。在未到达路口（1）时，是正常单轨道数据。可是在未到达路口（2）时，在原有轨道的旁边出现另一条轨道线，随后两条轨道线不断靠近，最终在路口（3）处合二为一。超过路口（4）处全为“0”低电平，表示前、左、右都没有路了，只能有 V 形路线这一种可能。最后是更加复杂的米字形线，米字形线几乎是以上所有路线的综合体，它共有 7 个转向可以选择（不包括原路返

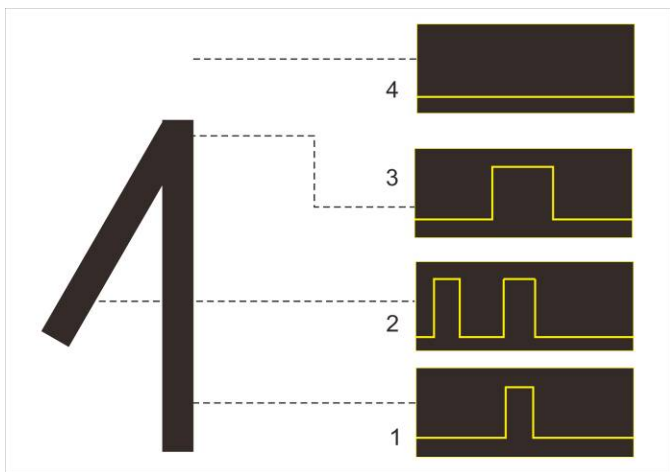
回)。在未到路口(1)处是正常单轨道线,在未到路口(2)处,在原有轨道两侧出现了2条新轨道线。到达路口(3)时因为左右也有路线,所以全为“1”(高电平)。超过路过(4)时,又出现3条轨道线的情况,这样4步采样后,判断一定是米字形线了。其实除了这些之外,还能有更多形状的组合,这里就不一一介绍了。只想给大家介绍一下如何准确地判断复杂路口。当然在这个过程中会有经过路口瞬间的不确定数据,另外如何在程序上巧妙的处理采样数据,如何让小车稳定的转向也是我们需要认真研究的问题,因篇幅关系不能写下去了。今后的文章中我会专门找时间介绍小车寻迹及转向处理程序的设计方法,敬请关注!



【路线图 4】Y 形路线



【路线图 6】米字形路线



【路线图 5】V 形路线