

圆梦小车第四代 —— FIRA 小车平台

圆梦小车第二代的结构设计是参考国外流行的 MiniSumo 比赛规则所做的，可国内似乎对此并不感兴趣，而且 MiniSumo 比较关注小车的机械性能，因为是以角力为主，圆梦小车在这方面是弱势，只有将规则从“相扑”变为“击剑”才有机会。

国内学生多数只是用小车走走轨迹，没有产生有趣、持久的活动项目。

由于二代小车个头太小，无法在上面做太多扩展，导致小车装好后的拓展应用受到限制。作为设计者，深感遗憾。

为了让购买圆梦小车的客户能物尽其用，物有所值，最近连续对圆梦小车的结构作了较大改进，应该说是脱胎换骨了。

首先，为了迎合有扩展需求的客户，设计了第三代圆梦小车 —— “轮式驱动单元”（[详见“轮式驱动单元”介绍](#)），使小车用户可以方便的按自己需求设计小车结构，用任何一个 MCU 或开发板、学习板都可以驱动小车。

开始设计时，期望购买圆梦小车的学生能顺带锻炼电子技术上的动手能力，但从售后的效果看，似乎有些要求过高，所以这次改进将电子技术和单片机应用学习分开，而不是将两者强制捆绑，强加给学生。

本次改进将电机驱动、码盘采样、电机电流检测等电子部分独立，并以成品方式提供，而控制用 MCU 的选择则交给用户。

这样学习者可以快速接近目标，而不至于被外围电路故障所羁绊（在二代小车中，有太多的学生倒在了 H 桥前^②，这也是促使我下决心提供外围电路成品的原因），毕竟我提供的是单片机学习平台。

但“轮式驱动单元”所能构建的小车与二代小车完全不是一回事，为了能让喜欢二代小车的学生不至于失望，接着设计了第四代圆梦小车。

四代小车延续了二代小车“小”的特征，但为了能够实现有趣、持久的活动项目，本次设计选择机器人足球的一个分支—— FIRA 规则作为依据，推出了一个只有 7.5cm 见方的 FIRA 小车。

让“机器人足球”走下圣殿，成为寓教于乐的大众娱乐项目一直是我的梦想！

下面将介绍“圆梦小车第四代——FIRA 小车”的构成、性能以及使用方法，为用户选择提供必要的信息。

一、构成

机器人足球 FIRA 规则规定，小车的外形尺寸为：7.5 x 7.5 x 7.5 cm。

在这么小的体积内实现小车的功能，用手工方式很难实现，即使借助于机械加工也有一定难度，这就是为何机器人足球比赛难以普及的原因之一。

为了能做出价廉物美的 FIRA 小车，还是采用了开模具的方式，虽然一次投入较多，但最终产品的效果和批量后的成本能得到保证。

本次设计的 FIRA 小车借鉴了我所看过的标准比赛用小车的许多优点，并弥补了一些不足，考虑作为学习平台而非竞赛平台的差别，为用户提供了一个价廉物美的 FIRA 小车。

小车塑料件采用**玻璃纤维增强尼龙**（电动工具用材料），大大提高的小车的机械强度和耐用性。

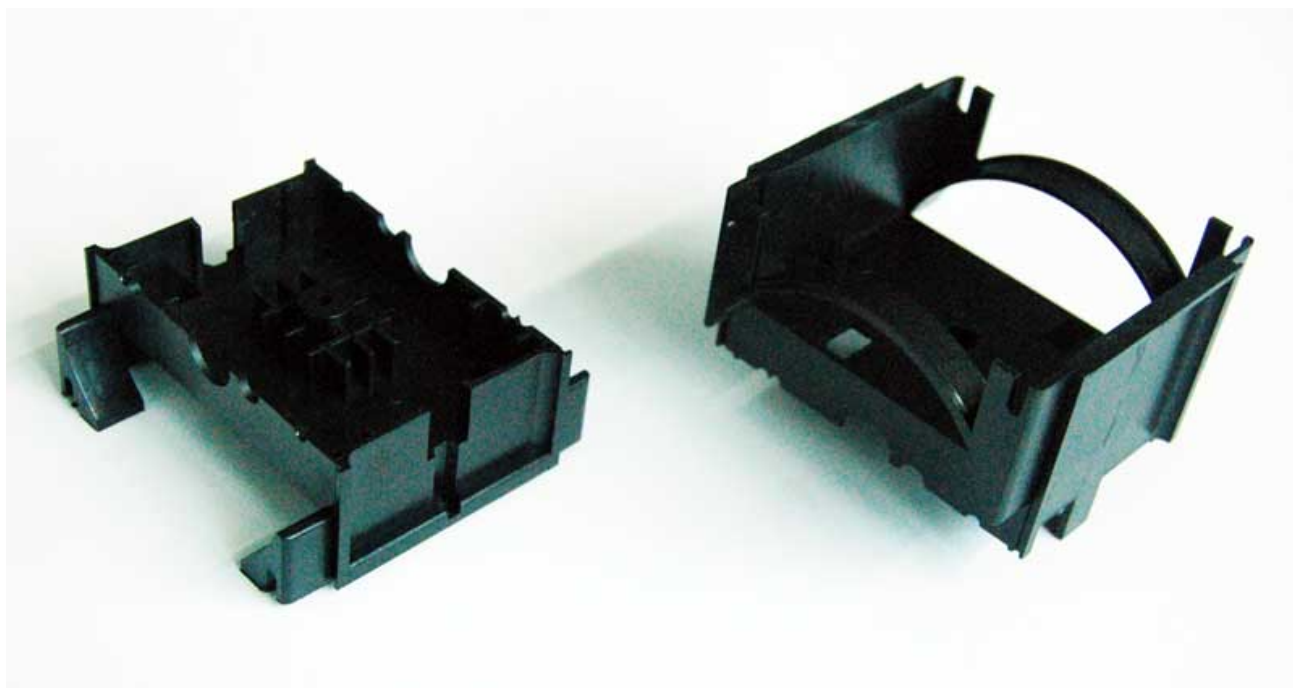
小车如下图所示（之所以设计为黑色，是因为 FIRA 靠小车顶部的色标来定位的，场地为黑色。为增加图像识别可靠性，小车也做成黑色可减少图像信息的干扰，使图像识别更加简单可靠，毕竟是 FIRA 小车，最终要在 FIRA 场地上驰骋）：



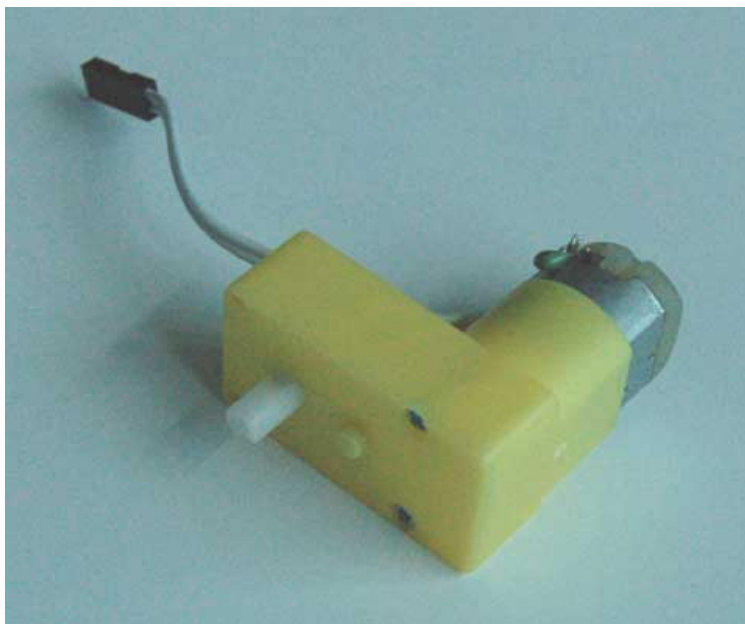


其主要构成如下：

基架：作为小车的主结构，实现电机固定、电池盒放置、线路板安装等基础功能。



减速电机：提供小车动力，选用标准设计的减速箱和 130 电机，以保证良好的性价比。



车轮：为了提供足够的速度，设计了小车结构中允许的最大直径车轮，外径 65mm（按目前所选用的减速电机，最快速度约 65cm/s），同时设计了采样码盘，便于实现速度反馈和行走距离检测。车轮采用橡胶轮胎，并刻有防滑槽，以降低打滑的可能。

轮胎宽度 7.5mm，设计成平面以增加摩擦力。



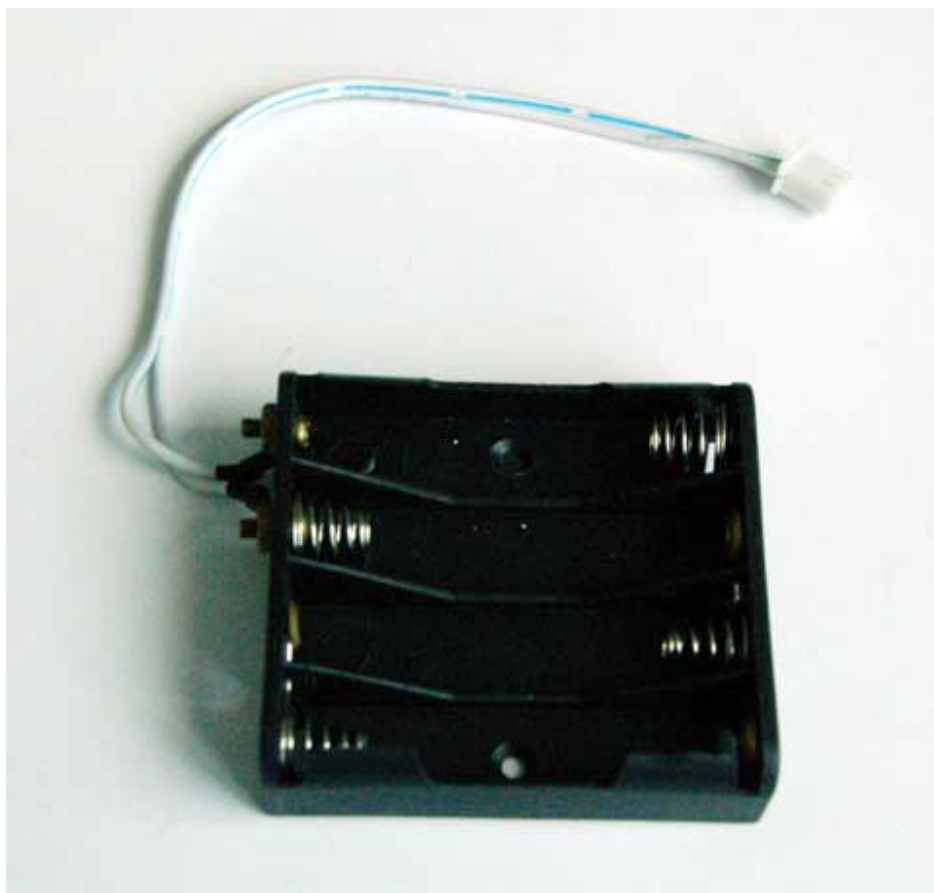
驱动检测电路：实现电机驱动、码盘采样、电机电流检测功能，两侧独立设计，方便检修。电路原理和圆梦小车二代完全一样，只是几何形状变化，所以原来的程序可以借鉴。



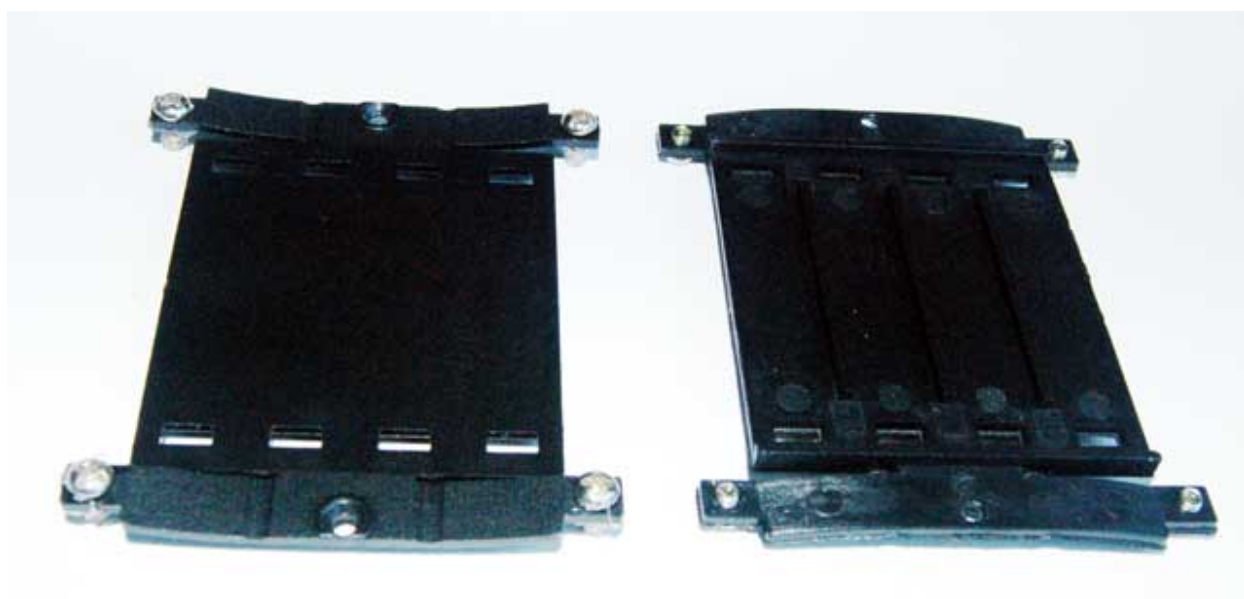
侧盖：用于固定驱动电路，使上、下机架结合更牢固，增加车轮稳定性（提供轮轴两点支撑，并设计有滚珠槽），同时为车轮转动顺畅提供保护，因为机器人足球比赛中，小车碰撞是必然，靠在一起时，容易对车轮转动产生阻碍。



电池盒：选用 4 节 7# 充电电池作为动力源，提供电池盒而非电池组是为了客户使用、维护方便。



电池盒盖：用于固定电池盒，同时提供小车的 4 个支点，以维持小车平衡。



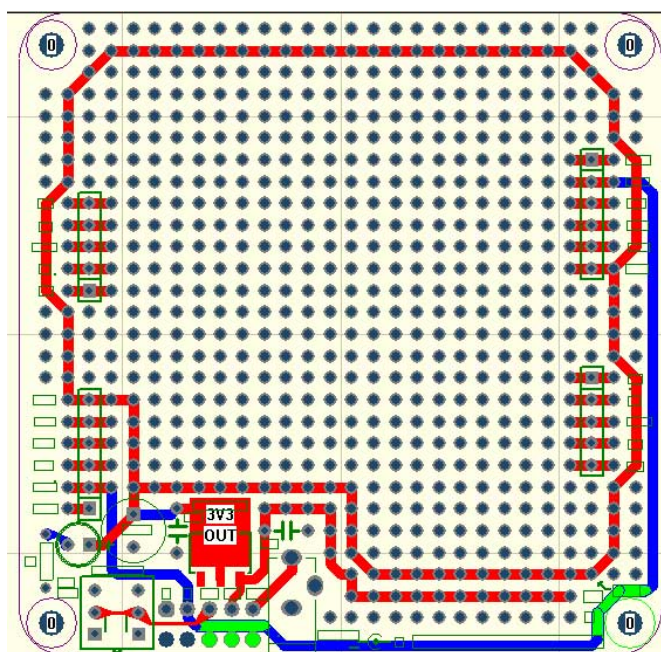
从上述组成看，只能算是一个小车底盘，因为缺少控制部分，为何这样设计？

这是学习单片机应用的平台，而单片机的种类众多，除了流行的 8 位机：51、AVR、PIC 系列，还有日渐被接受的 16 位机 MSP430 系列，以及最近升势很猛的 ARM Cortex-M 系列，这些单片机各有优势，无法说谁好谁坏，完全取决于学习者的需求和喜好，此外还有越来越接近 MCU 的 DSP，所以我将这个权力交还给用户。

而且我认为：所谓单片机应用学习，最核心的就是能自己消化一个 MCU，根据控制需求自己分配 MCU 的资源，编写相应的程序，使之能按自己的想法工作。这才是掌握单片机应用的关键！

在学习的初级阶段，使用设计好的控制器，只能按照设计者的思路去做，大大降低了研读 MCU 手册的要求，削弱了设计成分，变成了消化别人思维的过程。只有到后期上升到软件为主的学习时，才可以忽略硬件，就像我们在 PC 上编程，几乎不去考虑 PC 机内部。到 ARM9 这个硬件级别就不用太关心硬件了。

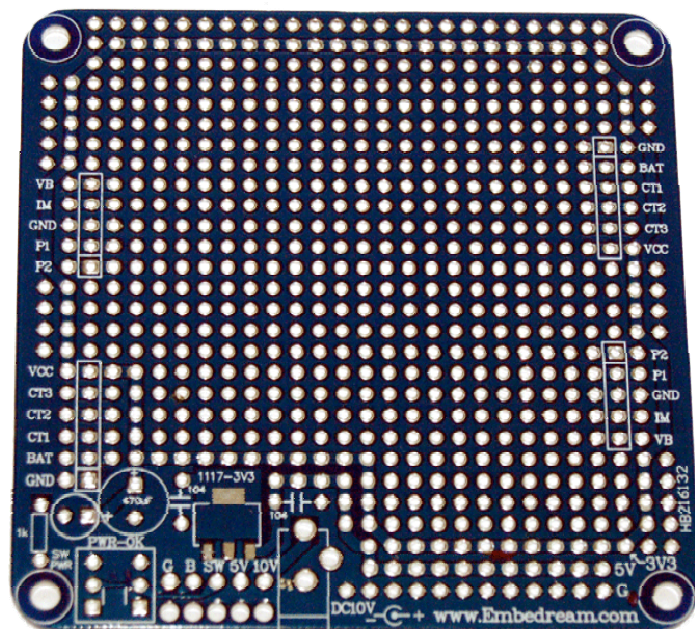
即便是同一款 MCU，也可以有不同的资源分配方式，从而带来不同的编程方式和学习体验。为此，我还设计了一个类似试验板的 PCB，以方便用户自己快速构建自己的控制器：



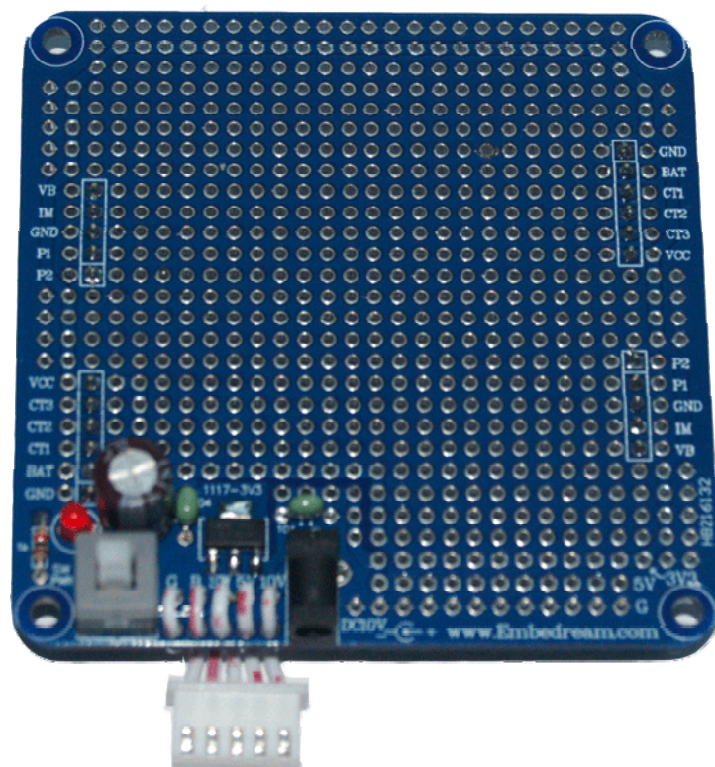
板上只连接了几根必须的电源线，其余部分就是常见的万能试验板。基于此 PCB 可以方便的用直插封装的 MCU 实现一个控制器，插到小车上即可。你可以随意分配资源，并且可以随时调整，以期达到最佳效果，或者体验 MCU 所提供的硬件特性。

本来用户可直接选用市场上的万能试验板，无奈那些板的质量太差，多数是单面覆铜，且焊盘未上锡，少数一些双面的 PCB 价格又不合理。所以决定自己做一块，为用户提供方便。

做好的万能 PCB 如下：（1.6mm 双面板，金属化孔，间距 100mil，焊盘 43/70mil）



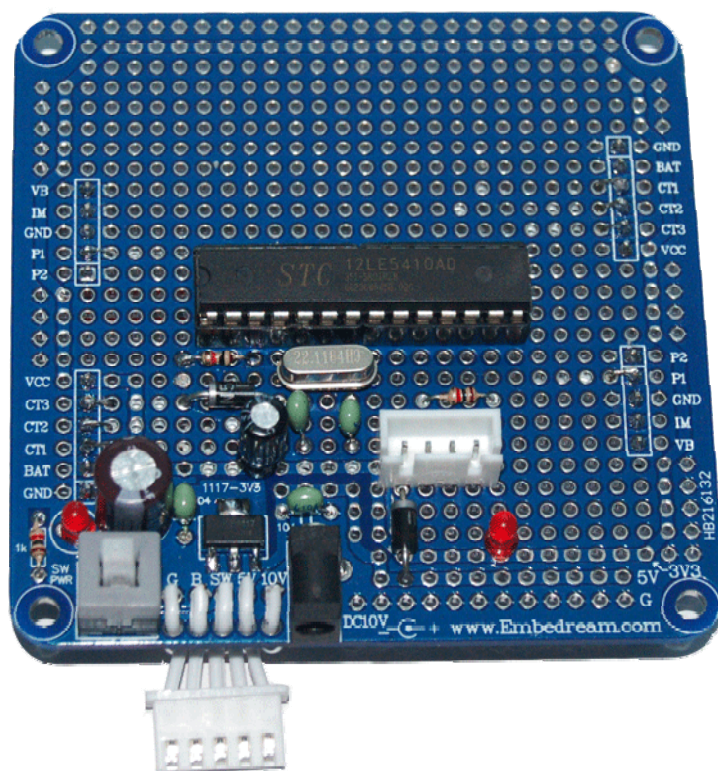
焊接好电源部分如下：



电源部分提供了 5V 和 3.3V 两种，作为控制电路的供电，而电机供电则由电池直接提供，不经过稳压处理，以保证足够电流，并减小对控制部分的干扰。

电源电路是配合小车专用的供电电路设计的，供电电路提供了电子开关、充电管理、升压型稳压电路，以保证控制部分的可靠运行。关于小车供电部分的详细说明可到 Google Code 的项目托管中下载：<http://code.google.com/p/fira-mirosot-robot/>，在 Download 中。

以下是使用 STC12Le5410AD 单片机所做的示例，原来圆梦小车二代的程序可以直接使用：



二、结构详述

作为小车的结构设计，主要解决以下几个方面问题：

2.1 动力选择

和第三代一样，选用成熟的减速机构和标准的 130 直流电机（见上面图示）。

在第一代中，由于不熟悉这个领域，采用了一级皮带减速，明显效果不好。后自己设计了减速箱，推出第二代，虽大有改善，但由于非专业设计，齿轮箱性能不是太好，且没有去除备受诟病的皮带传动。这次设计，彻底消除了上述问题。

有人会问：为何不选用性能更好的金属减速箱电机？

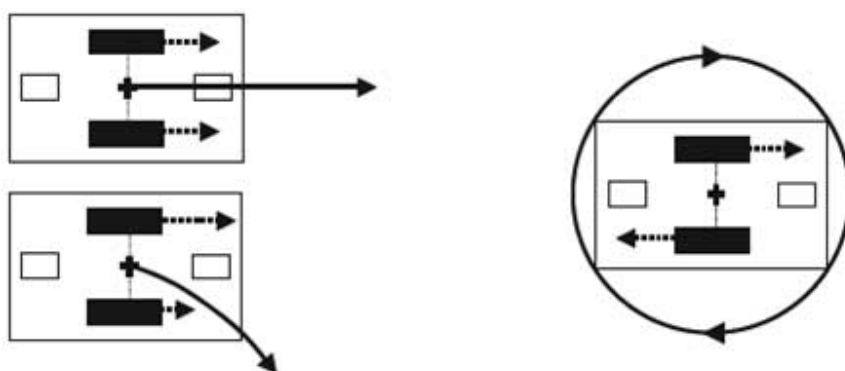
因为圆梦小车的设计初衷是为学习单片机提供控制对象和学习素材，价廉物美是首要因素，不希望因为过分追求性能而给学生凭添不必要的负担。

综合权衡之后，选择了这个方案。选用 130 电机，还是给有意改进其性能的用户提供了可能。因为四驱车的缘故，130 电机有相当多的规格，且有自己改造的材料供应。

2.2 驱动方式

FIRA 小车一般设计为差分驱动，前后对称的形式，即不分前后，以增加对抗时的灵活性，因为不用“转身”了。

这样就要求车轮中置，如下图：



这种驱动方式，需要前后 2 个支点，这样就形成了 4 点共面问题，如场地稍有不平，就会导致一个驱动轮悬空，小车打转。

2003 年曾看过全国大学生机器人赛。那时就发现 FIRA 比赛中小车出现上述现象。

此外，还有一个问题是：由于前后只有一个支点，小车急转弯时会向前外角倾斜，导致不期望的运动轨迹，乃至侧翻。

基于这些问题，本次设计尝试用 4 个支点来保证小车的平稳（见上面小车的底部视图）。

你一定会问：这样不是 6 点共面了，比 4 点共面更容易架空驱动轮？

是的。为了避免这个问题，我利用尼龙的韧性将支点设计成弹性结构（见上面电池盒盖图），从而使小车可以避免架空驱动的现象，不过这只能对付 FIRA 规则规定的 1-2mm 场地不平整。

其弹性的强弱可以通过在弹性臂下部垫弹性体（如海绵、橡胶）来改变，以适应不同的场地，增加小车的平稳性。

不过，有个缺憾，原设计是打算用半圆头铆钉作为支点的，但由于购买数量太少而无法买到，只好用半圆头螺丝替代☹。

2.3 车轮安装

和第三代设计一样，由于减速箱的输出轴是塑料的，强度有限，且有一定晃动间隙，不利于车轮上的码盘采样，必须设计另一个轮轴支点，以增加车轮的稳定性。

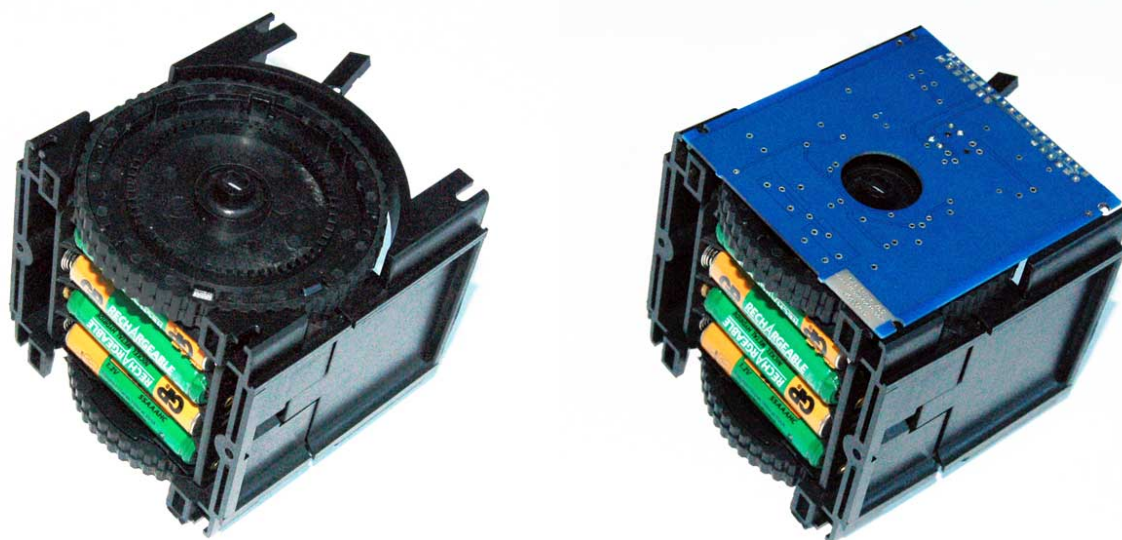
本设计增加了一个侧盖（见上面侧盖图），为轮轴提供了一个支点，由于结构允许，还设计了滚珠槽（注意侧盖中的圆环和轮毂中的圆环），以改善转动性能。

侧盖固定于上、下基架上，等于给上、下基架增加了 4 个固定点，使小车更加坚固。

因为这个结构，使我突发奇想，利用轮毂的空间安装驱动和采样电路，从而解决了驱动电路的安装问题。

小车很小，空间有限，如再挤占留给用户的控制器空间，用户自己设计控制器时就很困难。这样处理，既解决了驱动板的安装，又增加了侧盖的强度，同时将有效空间全部留给了用户。

以下为车轮、驱动板、侧盖的装配示意：





2.4 电池选择和安装

之所以坚持选择 7# 镍氢充电电池，而不选流行的锂充电电池，是由于锂电池规格特殊，很难有标准尺寸，会给使用者带来麻烦，7# 电池短期内还没有淘汰的迹象，所以还是作此选择。

没有像玩具和模型那样，提供做好的电池组，是因为在使用中发现，通常不是电池组内所有电池都同时失效，这样会给用户带来不必要的损失，所以还是用电池盒。

电池安装位置设计在小车底部，降低了重心，使小车更加平稳。

2.5 驱动电路的安装和连接

驱动电路的安装上面已经有图示。电路上包含了电机驱动、码盘采样、电机电路检测，供电电压检测。

与控制部分的连接可以用插针方式，如图中所示。这样很方便，但小车的高度就超过了 FIRA 的规则要求。如果需要严格遵循规则，可以不焊接插座，用软线连接，接线处设计了锁线孔（见上面驱动板照片），以避免插拔引线导致焊点处折断。

2.6 控制板安装位置和空间

如果不是参加正式的 FIRA 比赛，建议按上述万能试验板方式设计控制板，用插针方式连接，极其方便。

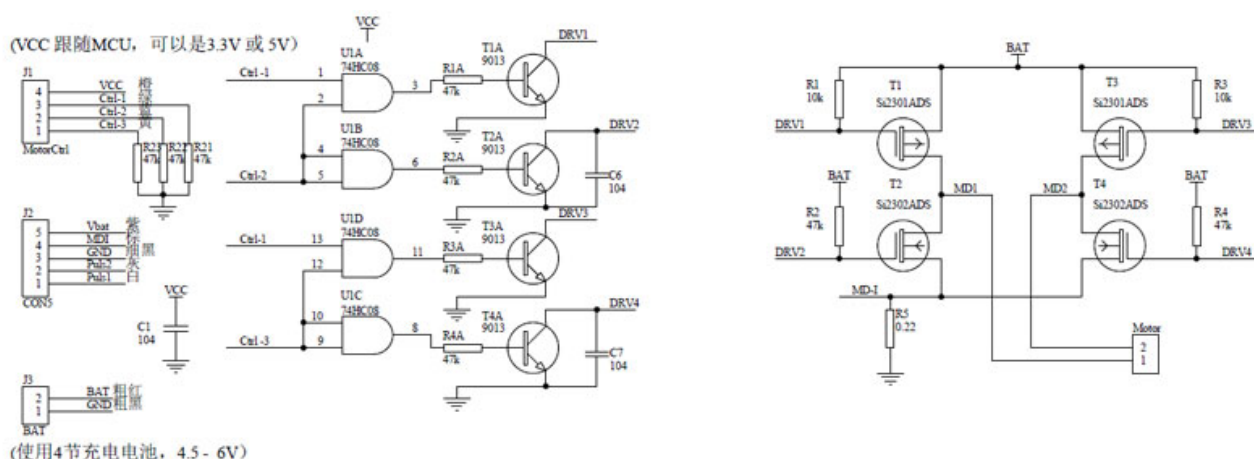
如果要严格遵守 FIRA 规则，则必须将控制板设计在小车的基架中，为方便安装，基架上设计了两个安装孔，并预埋了 M3 螺母，很容易固定。

控制 PCB 的尺寸最大可以为 65*45mm，安装孔距 54mm（居中），空间高度为 25mm，可以设计两层，控制器应该够用了。

三、电路详述

电路和第三代“轮式驱动单元”完全一样，此处就不再详细解释，简单汇总如下：

3.1 直流电机 H 桥驱动电路



供桥电压为 5V。这也是用 MOS 管带来的好处，因为桥臂压降小，所以用 4 节充电电池即可驱动，这样既便于充电，又减轻了小车的自重。

控制逻辑电路电压 VCC 接控制单片机的工作电压，可选择 3.3V 或 5V。

电机控制信号共三根：

Ctrl1 为 PWM 控制信号。

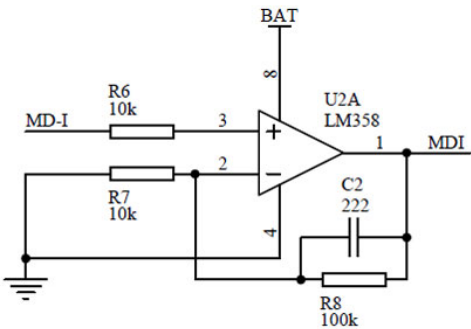
Ctrl2 和 Ctrl3 组合，得到电机的四个工作状态：正转 反转 刹车 惰行。

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	慢行
1	1	1	1/导通	1/截止	1/导通	1/截止	刹车

3.2 电机电流、电压检测

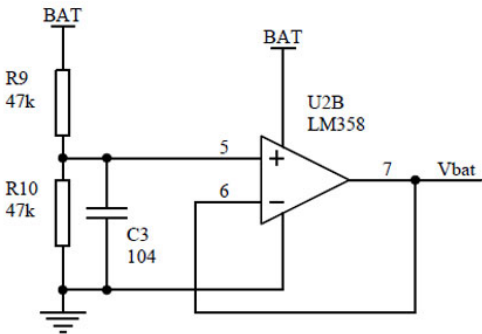
电流检测电路：



电流的取样电阻为 0.22 欧姆（见 H 桥驱动电路的 R5），按上图参数，放大倍数 11 倍，电机电流最大 1.1A 左右，所以实际的输出信号应在 0 - 2.66V，如使用 3.3V 供电的单片机，其 AD 输入范围为 0 - 3.3V，考虑电机的电流偏差和器件的偏差，留些余量。

电路中 C2 作用是减小电机电流波动的影响，是针对 125Hz 的 PWM 频率设计的，如提高 PWM 的频率，此参数应该相应修改。

电压检测电路：



电压采用简单的分压处理，设计了一个跟随器以减少 AD 输入阻抗对分压的影响。

电池的电压应在 4 – 6V，分压后为 2 – 3V，符合 AD 输入不大于 3.3V 的要求。

由于器件有偏差，如用户想尝试用电流检测转速，最好自己先通过测量，标定采样值和实际电流、电压的关系，之后再根据标定值编写计算程序。

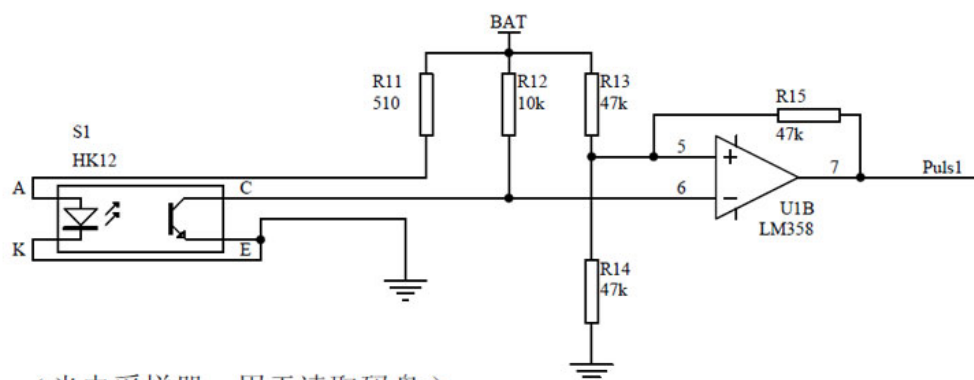
3.3 码盘采样电路

利用开模的优势，在车轮上设计了 60 个齿，可以用透射式光电采样器方便的得到脉冲信号，比反射式采样更加可靠。

但为了避免在变换状态时产生“毛刺”，还是利用运放设计了“施密特”电路，用回差消除之。

之所以用运放，而不是直接使用施密特触发器，是因为这样可以方便的改变回差大小。

码盘采样电路：



(光电采样器，用于读取码盘)

因为 LM358 是双运放，故设计的两路码盘采样，在 PCB 上错开布置，希望能得到相位相差 90 度的脉冲，一是可以增加精度，二是可以判断转动方向。

可由于码盘齿只有 1mm 宽，采样器焊接要求很高，很难实现，故暂不提供，留给有此需求的客户自己“精雕细琢”吧！

关于码盘采样电路的分析，有兴趣者可以看看“[圆梦小车 StepByStep -4](#)”一文，此处就不再赘述了。

四、结语

“FIRA 小车”介绍完了，有未尽之处将会随时补上。但愿能对大家学习单片机、嵌入式应用有所帮助。

最后，将“FIRA 小车”的主要使用信息汇总如下：

连接线：

每侧 11 根，用 2.54 间距的插座引出，或者客户用软线。

分成 2 组：

一组为控制线，共 6 根，其中：

G —— 电源地线；

BAT —— 电机驱动 H 桥供桥电压 5V（正极），包括检测电路 LM358 的供电；

CT1 —— 电机控制线 CTRL1，电机控制 PWM 信号；

CT2 —— 电机控制线 CTRL2，电机运行状态控制，与 CTRL3 配合；

CT3 —— 电机控制线 CTRL3，电机运行状态控制，与 CTRL2 配合；

VCC —— H 桥驱动逻辑电路 74HC08 的供电电压（正极）；

（虽然比 L298 多了一根控制线，但能实现刹车，还是值得的）

另一组为检测信号输出线，共 5 根，其中：

P2 —— 空腿，留给用户根据需要处置；

P1 —— 码盘采样脉冲输出线

G —— 信号地线，和电源地线内部相连，只是为了方便使用而增加。

MI —— 电机电流检测信号输出线；

VB —— 电机工作电压检测信号输出线；

电机参数：

额定电压 —— 4.5V

空载电流 —— 85 - 95 mA

空载转速 —— 9800 rpm +/- 10%

堵转电流 —— 1100mA

堵转力矩 —— 50g/cm (最大)

减速箱： 1: 48

结构参数

车轮直径 —— 65mm

码盘齿数 —— 60 个

码盘等效直径 —— 42 mm

脉冲精度 —— 3.4mm/脉冲（单边沿采集，可用倍频方式提高精度）

轮距 —— 约 59.5mm

外形尺寸 —— 约 75x 75 x 75 mm

重量 —— 约 240g （不含电池）

根据上述参数可以计算出：

最快运动速度：

选用 1：48 减速箱 —— 约 695mm/s

最大力矩：

选用 1：48 减速箱 —— 约 2.4kg/cm

上述计算值仅供参考。

最大载荷影响因素较多，未测试过，暂时无法提供，望谅解！

南京嵌入之梦工作室
2010 年 9 月 12 日星期日

附录：

问与答

1、 FIRA 小车底盘只提供成品吗？

答：可以提供散件。毕竟成品偏贵，因为是小批量手工制作，每辆小车的人工成本就要超过 50 元，所以没有办法降低。

如客户很想锻炼电子技能，或者想用自己的驱动电路，可以提供散件，包含所有结构件、电机、电池盒、PCB 和码盘采样器。因为 PCB 是结构中的一部分，无法去掉。这样配置价格略高于二代底盘，因为使用了增强尼龙材料。

2、 FIRA 小车底盘只能用于机器人足球比赛吗？

答：不是。按照 FIRA 规则设计只是为了有一个默认的目的，而非唯一。

按 FIRA 小车目前的尺寸，应用于 IEEE 电脑鼠（即迷宫）比赛也很适合。

此外，也可以用于走轨迹。因为小车体积小，可以在小的场地上设置复杂的轨迹，使活动的客观约束条件大大降低，有利于开展普及性的校内活动及学生之间的非正式活动。

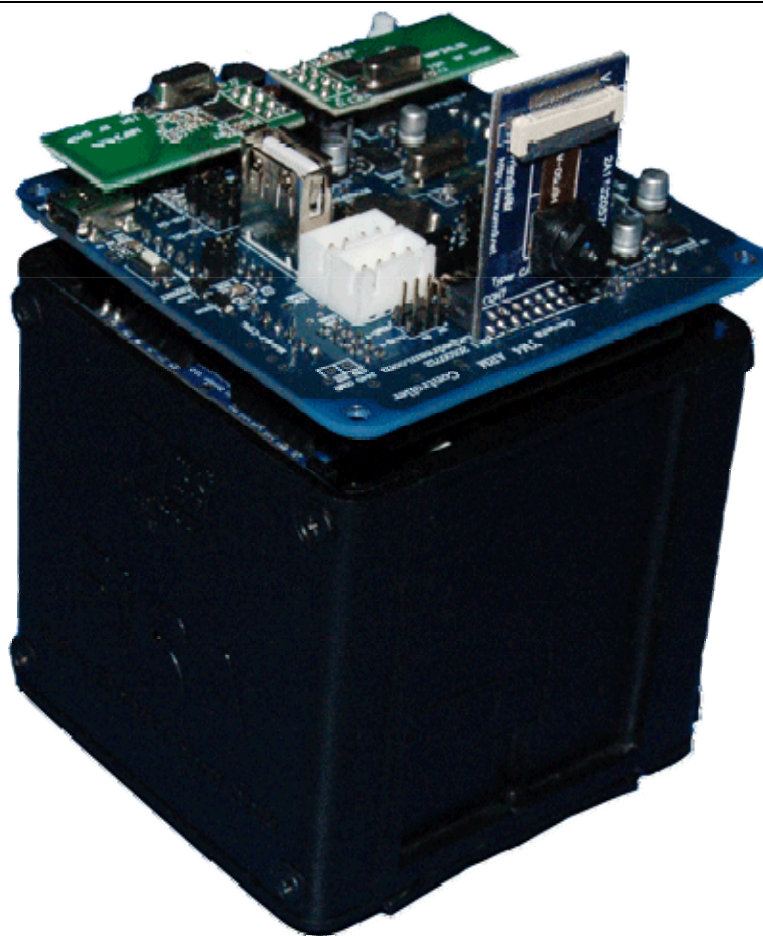
传感器的安装方式可以基于自己所做的控制板。如走迷宫有的方案是检测墙壁的上端面（等效于走红色轨迹），根据小车的高度（7.5cm）和墙壁的高度（5cm），在 PCB 上设计伸出的光电检测臂即可。

3、 作为个人，如何利用 FIRA 小车学习单片机和嵌入式应用？

答：FIRA 小车可以作为一个良好的控制对象，为你提供学习素材。因为体积小，可以在桌面上实施，降低了环境的制约，容易自己制作一些场景作为小车的挑战空间。

我还基于 FIRA 小车底盘设计一个控制器，期望学习者能从普通的 8 位单片机入手，从“裸奔”的程序开始，逐步提升至 32 位 ARM 控制器，使用 RTOS，最后步入 ARM9 处理器，在 Linux、WinCE、Android 的操作系统中驰骋。

为了简化不确定性，我所设计的控制器只配置一个摄像头，作为小车的眼睛，我希望所有的应用都基于眼睛实现，FIRA 小车底盘等于是腿和手。不希望学习者被不断出现的传感器需求所困扰，集中精力于软件学习。



由于不再在硬件改进上纠缠，学习者可以基于相同的平台交流，像 PC 机一样。嵌入式学习最大的障碍是软件交流困难，因为各自运行的硬件平台不同，只能看看构思，无法直接借鉴，更难于合作提高。有些程序不运行很难理解，所以也无法掌握其精髓。

4、 如果是学校，该如何应用 FIRA 小车帮学生学习单片机？

答：对于学校教学，建议采用上述万能试验板模式，由老师指定若干种 MCU，让学生自己基于万能板完成对小车的控制，作为一个大作业，我想这个比那种验证性的实验更能帮助学生掌握所学的知识。

万能试验板及上面的 MCU 等元件作为消耗品（估计在 20 元左右），而小车则由学校管理。这样成本并不高，而且可以跟随 MCU 的发展而变化，不至于与现实脱节。

为了使这样的应用更具可行性，还设计了一个充电管理板，可以方便的实现充电，回避电池管理带来的麻烦。

对于那些有一定能力和进取心的学生，这种方式还可以激发其深入学习的热情，因为可以

展示其才能。而不像标准的实验箱，想有所作为也难于表现。扼杀了好学生的冲动，也失去了培养好苗子的机会。

5、如何让学习单片机的同学通过“机器人足球”活动提高兴趣和技能？

答：如果按标准的“机器人足球”去做，那学习单片机的同学是无法应付，因为那个太偏重学术了，首先图像采集和识别就足以将这些没有太强 PC 机编程能力的同学挡在门外。

但可以换个思路，不一定非要那么学术，可以只将机器人足球作为一个简单的活动，只要能刺激起学生们主动在单片机上编程的欲望就算达到目的了。

可以这样安排：将机器人足球的场地和图像采集、识别作为设施，由学校提供，就像乒乓球台、篮球场等体育设施一样。

这个“机器人足球场”可以将场地上符合规范的色标和球定位，并按照设计的协议通过无线发送给小车。这些色标和球作为场地的附件，要上场的小车只要在顶部贴上色标即可。

小车用单片机控制，可以自带无线，只要符合场地的无线规范和协议。学校也可以配置一些标准的无线模块供学生借用，这样学生就不必再投资无线部分了。

按照这个方式，学生基本不需要单片机编程以外的知识，就可以参与机器人足球活动了。我想这比那些走轨迹、灭火、迷宫等项目都会有趣。关键是可以刺激学生不断优化程序，从而不断掌握新的知识。

机器人足球最大的特征是提升空间较大。开始可以是 1 对 1，即双方各一个小车，熟练掌握后，可以变为 2 对 2、3 对 3.....，这不是简单的数量增加，随着参与对抗的小车增多，所要考虑的因素成几何级数增长，很多新的计算机知识会自然而然的呈现在学生们面前。为了满足征服欲和表现欲，他们会主动学习新的知识，以使其小车更具智慧。软件学习能到这个境界应该是最佳的！

实际上，嵌入式控制、单片机编程学习的最大障碍是没有让学生们兴奋的内容促使他们编，只是在应付课业，所以没有效果。很多软件上的技巧都是源于现实的需求，而在教学中却将原来的需求抽去，将产生的结果交给学生，枯燥、难以理解，如果学生没有足够的想象力，可以说只能囫圇吞枣，甚至还埋怨发明这些技巧的人是没事找事。

如果能将原来的需求呈现给他们，或者说能设置一个场景，让他们自己产生这些需求，为了解决之，自己找到这些技巧，学习效果会有天壤之别。

机器人足球就是一个蕴含着十分丰富需求的场景。原来这个活动过于“贵族”化，一个 FIRA 小车要 7000 元，少有学校可以问津。

现在这个 FIRA 小车底盘的问世，不到 500 元即可做出一个 FIRA 小车。

上述方式的场地所需硬件投资也不会超过 5000 元，其中最贵的电脑估计学校到处都是，如果剔除电脑，估计 2000 元都不要。而任何一所大学都有能力编出图像采集识别程序，即便不愿投入精力，找参加过 FIRA 比赛的学校交流一下，即可解决，这是 FIRA 比赛的最基础部分。

这种活动不一定非局限于教学，作为学生的科技活动也是很好的素材，学生们有体力上的对抗赛，缺少智力上的，特别是和专业知识相关的对抗赛，组织的好，可以丰富学生的生活，还可以减少学生沉溺于电脑游戏的时间。
