

中型轮式足球机器人技术文档

轮组2021. 2



目录

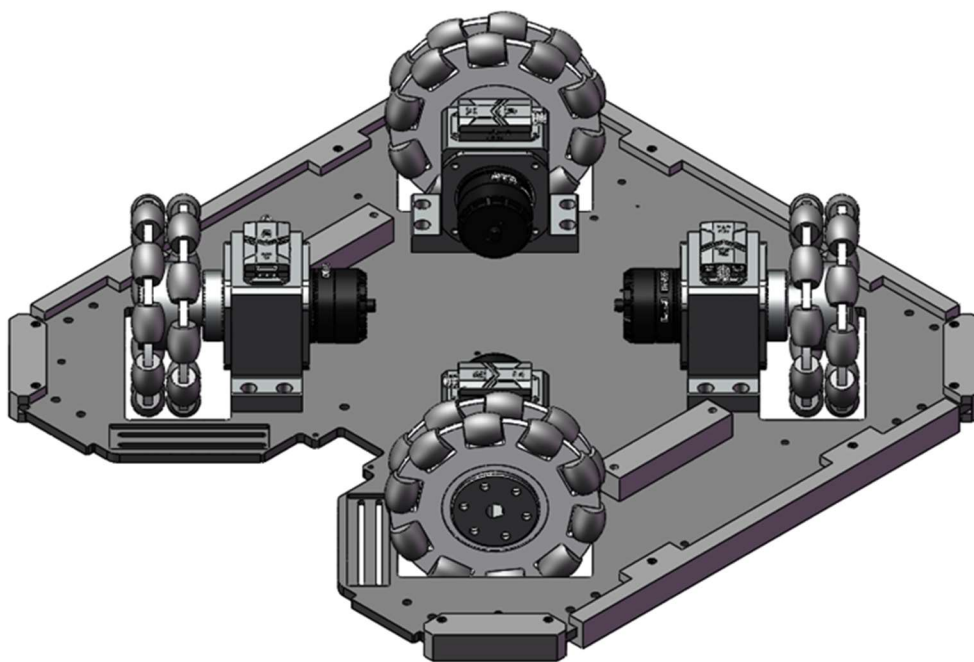
1 机械部分	1
1.1 底盘设计	1
1.2 击球装置设计	1
1.3 持球装置设计	2
2 硬件部分	3
2.1 电磁弹射系统	3
2.2 电机控制系统	5
2.3 电源管理与主控芯片设计	5
2.4 上下位机数据通信	6
3 软件部分	6
3.1 视觉模块	6
3.2 定位模块	9
3.3 策略模块	10
4 参考文献	12

1 机械部分

1.1 底盘设计

底盘采用四个互成 90° 角均布的全向轮作为机器人的运动部件。四轮在保证底盘全向移动的同时，具有很好的稳定性。我们自主设计了全向轮轮系整体结构并申请相关专利。它用来保证全向轮转动时的稳定性以及保护电机轴，极大地减少了全向轮转动过程中对电机轴的伤害，解决了电机轴与全向轮不同轴心的问题，并通过运动算例来初步实现模拟移动平台的全向运动。

全向轮具备同轴度高，大轮摩擦系数高，小轮转动灵活的特点；底盘具有重量较大，刚度较强的特点。这使得整个平台的重心下移，运动时不易倾倒。考虑到在实际竞赛过程中会有很大的对抗及激烈碰撞，我们移动平台全部采用不锈钢板和铝合金面板的材料。



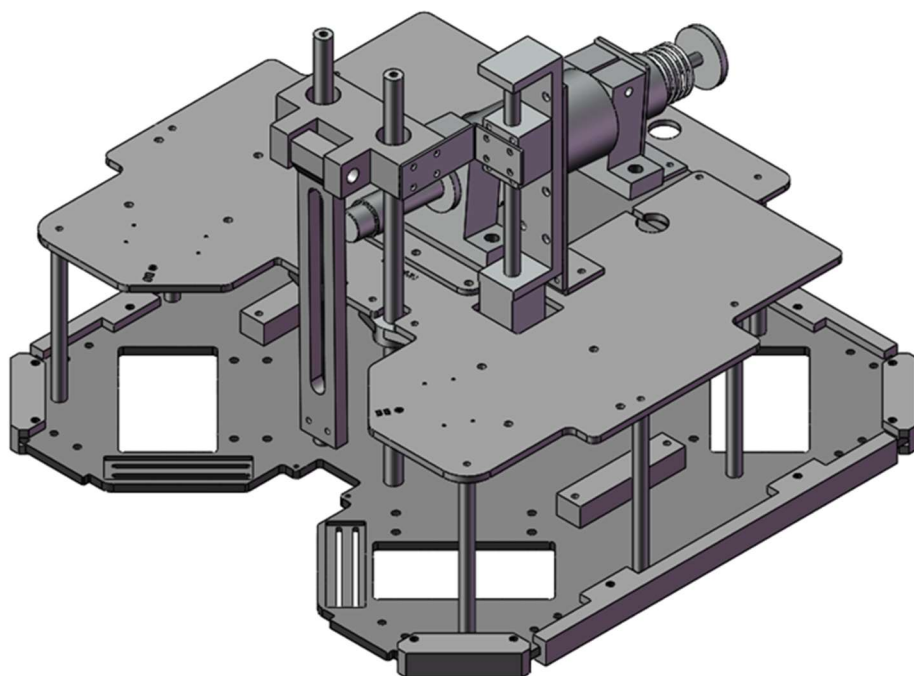
全向运动底盘结构图

1.2 击球装置设计

对于中型足球机器人来说，击球装置是整个机器人实现击球功能的核心。对

于击球装置的选择，需具有响应时间短，击球力量足，击球速度快等特点。

综合考虑，我们拟采用电磁弹射方法，并通过相应的机械结构设计来实现足球机器人的击球动作。根据现实真人足球比赛的情况，我们发现平射与挑射是射门进球的两个重要方式，为了达到机器人组合多样射门的的目的，我们采用滚珠丝杠步进电机来实现击球杆的上下移动，从而改变击球点实现平射与不同角度的挑射。经过不断地优化设计，最终我们设计出一个除满足上述要求之外，还具有可靠性高、便于维护、便于拆装等优点的击球装置。



击球装置结构图

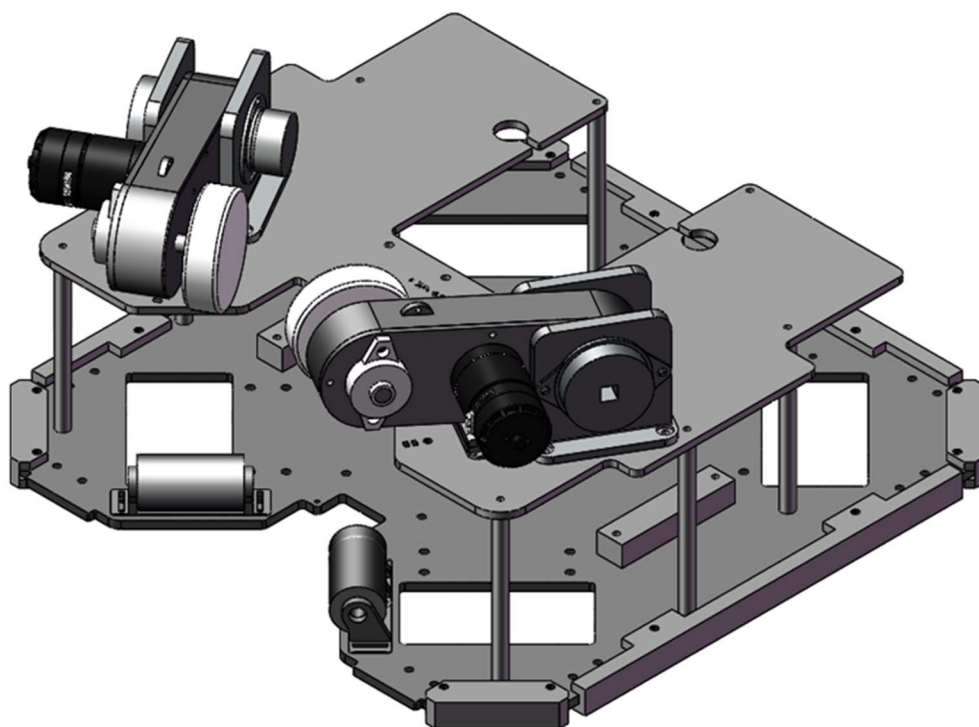
1.3 持球装置设计

对于中型足球机器人，持球装置是能够顺利将球带到目标区域的实现与保障。持球装置拟由两部分组成——主动部分与被动部分。

主动部分：采用M3508作为驱动主动摩擦轮的电机，通过传送带实现扭矩的传递，节省了机器人的前部空间。

被动部分：采用横向单轴摩擦轮作为被动摩擦轮并固定于底板上，提高持球的稳定性。

整个结构按照模块化设计，利于平时的维修与安装。主动持球装置采用角度传感器与M3508电机不同轴转动的方式，使得M3508电机在带动传送带绕同步带轮转动的情况使主动摩擦轮抓球，从而使整个持球机构抬起产生角度变化信号，控制电路根据角度变化信号调整电机转速和扭矩，进而更好控球。持球机构底部还有调节螺丝用来确定持球机构的初始位置，便于实际调节时选择更好的位置进行抓球。



持球装置结构图

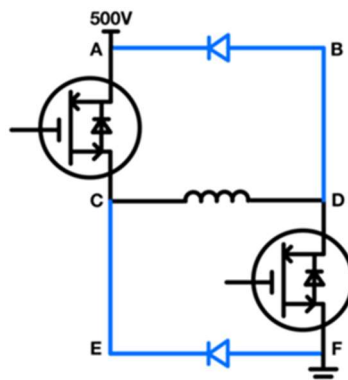
2 硬件部分

2.1 电磁弹射系统

螺线管电磁铁是弹射机构的动力来源。弹射系统使用八个500V, 1000uF电解电容，可提供能量。在比赛中使用的是标准 5 号足球，质量 500g，当球速为 10m/s 时，其动能 E 远远小于 Q ，这在能量角度上说明弹射系统是可行的。

弹射系统的半桥电路部分如下图所示。电路由两个 IGBT、两个快恢复二极

管和线圈组成。考虑到电路峰值电流可达约 100A，这里选用型号为 RHRP3060和 AUIRGPS4067D1。

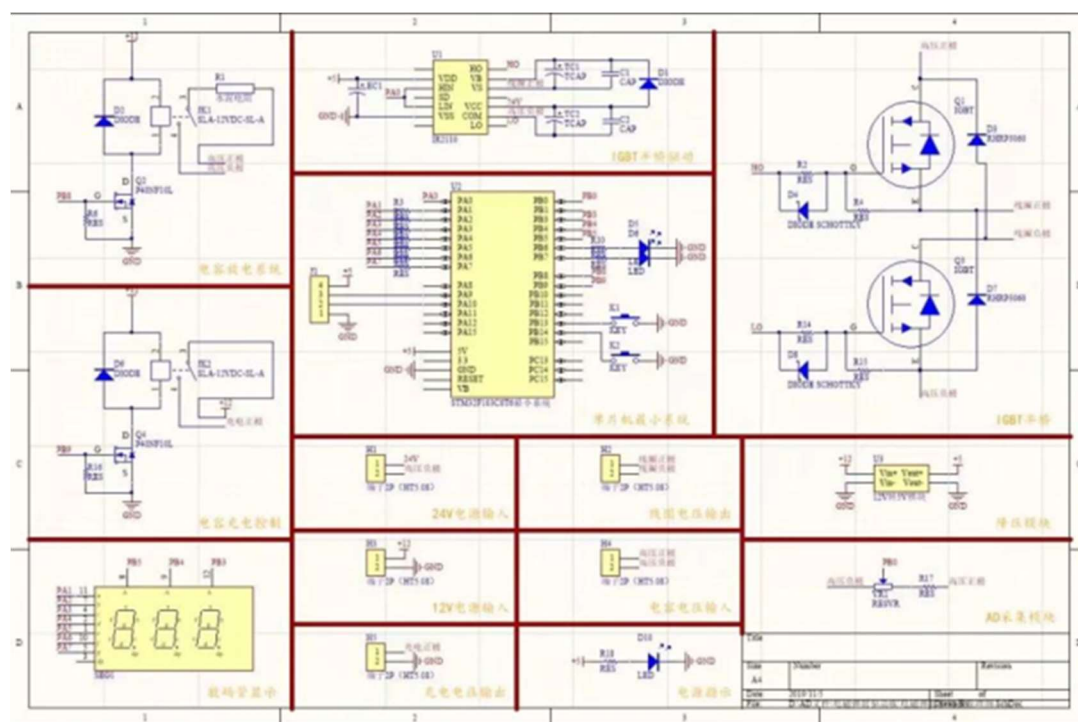


半桥电路图

我们通过两个 IGBT的同时开闭时间来控制踢球动作的力度。当两个 IGBT均为导通状态时，电流从正极由 A、C 经过线圈到 D、F 回到负极，此时线圈产生磁力推动电磁铁运动。当两个IGBT 迅速关断时，线圈中产生巨大的感应电动势，推动电流从负极由 E、C 经过线圈到 D、B 回到正极。

在传统开关控制电路中，常使用单一续流二极管解决巨大的感应电动势对电路的伤害，将电磁铁中的能量以热形式放出。使用此种电路，不仅可以可以实现对电磁铁通断时间的精准控制，而且可以将电磁铁中剩余的能量回收电容中继续使用[1]。通过能量的回收，可以提高能量的利用效率，也可减少两次踢球间电容的充电时间，进而提高足球机器人的竞争力。

整个控制电路图如下图所示，包括电容的充放电部分、电压采集部分、显示部分、半桥电路部分和主控部分等。它实现了对整个弹射系统的有序控制。



整体控制电路图

2.2 电机控制系统

电机采用闭环速度控制，利用编码器调节电机的PID，可以精准控制电机的转速。而在不同的物体表面时，我们设计了多种控制模式，可以通过控制电流、电压等参数对电机进行控制，同样我们也可以通过CAN通讯，对电调发出指令，然后由电调向输入PWM信号，从而控制电机。

在某些高精度要求的环境情景下，我们可以通过控制电机从而使三个电机拥有绝对相同的转速，另一方面，我们能够精准控制电机的旋转角度和圈数，这样可以精准控制车辆走过的路程，也可以精准控制车辆转过的角度，从而精准控制车辆。

2.3 电源管理与主控芯片设计

我们自主设计并制作了电源管理模块与主控芯片模块：

电源管理模块：利用开关稳压电源芯片，分别对主控芯片、驱动模块和电机提供不同电压，并加入保护电路（过流保护及短路保护电路）。

主控芯片模块：我们将屏显模块，按键模式切换模块，手柄控制模块，多协议通信模块等多模块进行融合。

本项目电路板是自行利用Altium Designer软件进行设计。电路板采用模块化设计，既可以很好的使系统稳定可靠的运行，并且在出现问题是可以快速查明原因，只需更换相应模块即可，这样不仅节省时间，而且还能节省成本。

2.4 上下位机数据通信

机器人采用上下位机结合的控制方式，上位机使用ROS系统，实现对目标物的识别，自主定位与自主决策；下位机使用STM32单片机，进行电机控制，击球与持球装置控制。

基于串口通信的原理，采用Zigbee高速率通信，实现机器人与上位机之间的通信。上下位机分别执行任务并进行通信，有效地提高了容错率与抗干扰机制。在通信协议上，实现错误回传机制，将所传信息作为净负荷进行包封装，加入帧头、帧尾、以及校验位，在一定程度上可减少错误数据，提高通信质量，且大大降低电路及传输过程中干扰因素所带来的影响，确保数据传输的准确性。

3 软件部分

3.1 视觉模块

在比赛中，我们的中型组轮式足球机器人借助全景摄像头，利用相关算法实现全向视觉，对周围的环境信息进行捕获。全向视觉的实现主要包括以下步骤：

- 距离标定
- 像素级颜色分割
- 白线检测
- 自主定位（详见定位模块）

距离标定：

主要通过对全景摄像头光学几何性质的分析[2]，结合已知的一张正规场地的平面图片，我们可以将全景摄像头获取的带有曲变的原图像转化为世界平面下

的视角。通过建立足球上每个点距离其最近白点的长度的误差表使得原图片中的白点能够以使得误差最小的方式正规化到世界平面坐标下, 该问题简化可简化成一个最小化误差函数的任务。该问题在前期可以通过**遗传算法**解决。

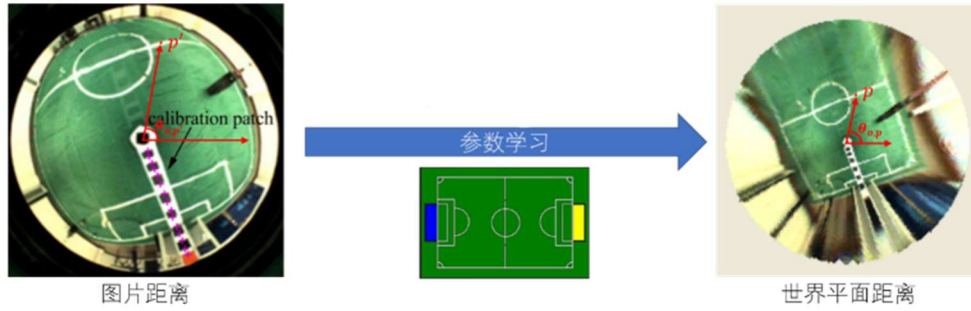
任务公式与原理如下:

$$\theta_{o,p} = \theta_{o,p'}$$

$$d_{o,p} = q_1 \tan(q_2 \cdot d_{o,p'})$$

$$p^w = \begin{bmatrix} x + d_{o,p} \cos(\theta + \theta_{o,p'}) \\ y + d_{o,p} \sin(\theta + \theta_{o,p'}) \end{bmatrix}$$

$$\min j = \sum_j^n \text{error}(P_i^w)$$



任务原理示意图

颜色分割:

由于足球机器人比赛对机器人图像处理实时快速的要求, 我们采用公式计算与阈值比较的方法得到指定颜色物体信息的速度不能满足上述要求, 因此我们采取速度更快的查询表颜色分类法, 根据像素多个索引坐标在查找表中对应的标记结果得到该像素的颜色分类结果。总而言之, 在全景视觉下, 采用颜色分割的方法来实现物体定位与分类。当处理一个对应像素点的值时, 则可以直接快速的根据查询表判断其所属类别:

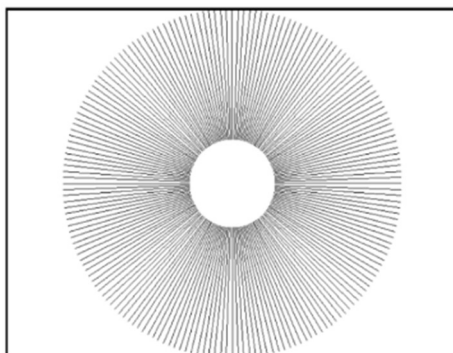
$$pixel_{\{color\}_{\{y,u,v\} \in pixel}} = Lookup_Table[y][u][v]$$

足球机器人比赛中各物体有明显的颜色区别与信息如下表所示:

类别	颜色
场地	绿色
边线	白色
机器/障碍物	黑色
足球	橙色
球门1	蓝色
球门2	黄色

类别与颜色对应表

我们对采取的全景视觉图像进行每隔 1° 进行 360 度扫描，来实现对于图像的处理，在扫描线上采取样点可显著的减少对整幅图像的计算量，为了满足机器人实时比赛的要求，可以根据现场的状况实时的更改扫描线选取的角度步长。



全景图像扫描线示意图

在颜色分割的色彩空间选取上，我们采取相比于 RGB 更加友好的方式，即融合 YUV 空间的 Y 分量和 HSI 的 H 和 S 分量进行加权匹配的方法。该方法可以更加精确的解决物体识别中的噪声问题。

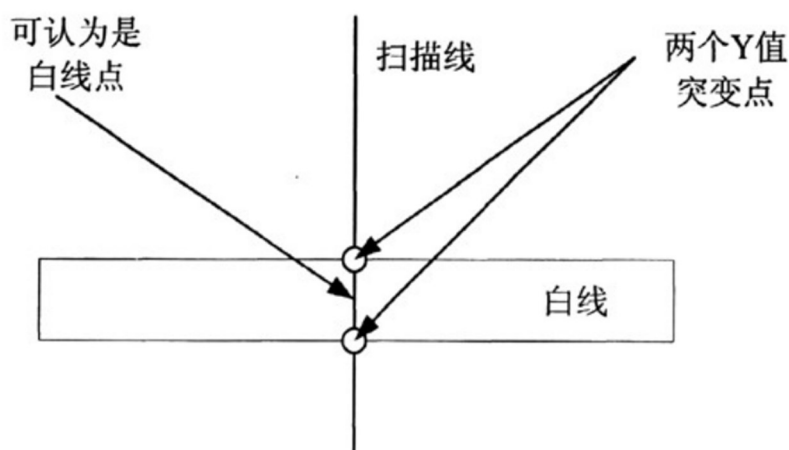
YUV，分为三个分量，“Y”表示明亮度（Luminance），也就是灰度值；而“U”和“V”表示的则是色度（Chrominance），作用是描述影像色彩及饱和度，用于指定像素的颜色。

HSI 色彩空间则是从人的视觉系统出发，用色调（Hue）、色饱和度（Saturation）和亮度（Intensity）来描述色彩。

白线检测:

由于每一年场地周围特征的变化（外部立柱以及外部一些其它特征等），加之场地内部信息的缺少以及球门信息在场地中的匮乏，综合考虑，我们采用基于白线匹配的匹配优化算法去实现机器人的全局定位和自定位。

由于场地光照强度和分布的变化，采用 Retinex 等颜色恒常性方法解决颜色分布不均，采用融合颜色空间的方法解决光照条件的变化难以满足比赛越来越高的实时性要求，但是白色标识线和绿色场地的颜色亮度等差异却一直十分的明显，综合考虑我们采用扫描线识别白色标识线的算法，通过检测场地和白线之间的亮度突变和颜色突变来识别白线（如下图所示），通过匹配优化的方法不断地提高其准确性，同时这样的方法和颜色分割的算法共用了建立扫描线的部分，大大减少了计算量。



白线检测的原理

3.2 定位模块

机器人定位是足球机器人的核心技术之一。我们通过场地的白线信息来解决“机器人绑架”的问题，解决机器人跟踪定位和全局定位的问题。

我们将上述扫描线得到的白线（白点）信息进行距离标定后，根据机器人所在位置，通过颜色分割检测到的白点和前期提前的定标图（如下图所示）进行匹配优化，将得到的结果结合里程计，陀螺仪等信息进行局部的卡尔曼滤波优化，得到机器人的最终位置。

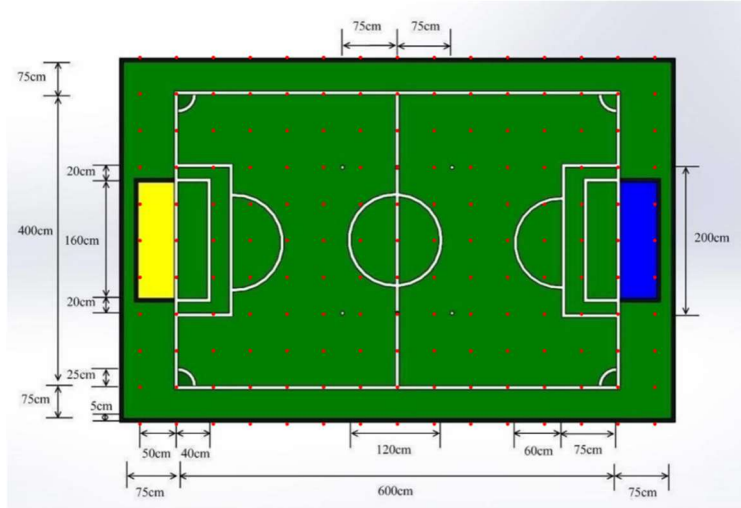


图8. 比赛场地示意图

而匹配优化问题可以通过设定误差函数而转成一最小化偏差准则的问题，其中误差函数通过前期调研有如下形式[3]：

$$E_k(o) = \sum_{i=0}^n \left(1 - \frac{c^2}{c^2 + e(o_k^i)^2} \right), k = 1 \dots 165$$

机器人的总体定位流程分为如下两步：

全局定位：无先验信息，从全局 11×15 个点中选择5个最小误差项作为粗匹配结果，再局部递归到最优

跟踪定位：有先验信息，局部搜索上一处位置附近当机器人朝向定位值与陀螺仪获取朝向角之间偏差较大，再次初始化

考虑到视觉定位因为白点遮挡、振动噪声会导致精度下降的问题，我们将里程计信息和视觉新进行融合，规则如下：

- 当视觉不确定性高时：定位信息更多依赖于里程计信息。
- 当视觉精度高时：定位信息更多依赖于视觉信息。
- 拟进一步通过调整滤波方法提高白色标识线的可靠识别。

3.3 策略模块

在比赛中，中型组机器人策略的实现主要分为两个层面，一是底层的路径规

划与避障算法的实现，二是建立在路径规划抽象层上的角色分配和策略控制。

路径规划与避障算法：

在控制机器人运动方面，通过使用PID控制算法，简单的结构能够较好的控制机器人抵达目标点，鲁棒性适应性较强。PID控制器是一种线性控制器，根据给定值 $r(t)$ 目标点的坐标与 $c(t)$ 实际机器人所在的坐标构成的差值： $e(t) = r(t) - c(t)$ 。将偏差的比例（P）、积分（I）和微分（D）通过线性组合构成控制量，对受控对象机器人进行控制，控制的规律为：

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

其中 $u(t)$ 指的是机器人速度， K_p 为比例系数， K_i 为积分系数， K_d 为微分系数。

各个环节的作用如下：

- 比例环节：根据机器人与目标点之间的坐标差 $e(t)$ ，偏差一旦产生，控制器立即产生控制作用以减小误差。调节的量依据偏差量 $e(t)$ 。
- 积分环节：能对误差进行记忆，主要用于消除静差，即场地上的摩擦。
- 微分环节：用于对于偏差变化的趋势做出反应，加快系统的反应，减小超调，增加了系统的稳定性，使得机器人能够更快速的到达目标点。

使用PID控制算法的时候最重要的是选取参数，通过多种参数整定算法，如凑式法，临界比例法和ISTE最优设定法[4]，选取最优的参数，达到最好的控制效果。

在避障方面，由视觉信息传入的障碍物的坐标信息，参考国防科技大学的避障策略[5]，以机器人当前的行进方向为轴，将场地分成了两个部分，分别计算机器人中心与障碍物所形成的相切角，比较两侧最大的相切角，选取较小的那一个，将相切点设置为子目标点，通过迭代的实现得到的子目标点，就得到了我们需要的路径。实现了避障的功能。在调用避障策略之前，会检测机器人与目标节点之间是否存在足够宽的通路使得机器人能够直达。

角色分配与策略控制：

在抽象层的最顶层是对于机器人的角色控制，一共有三种角色，分别是攻击、辅助与防守。角色控制层之下是行为控制层，例如抓球，带球和传球等操作。

攻击角色的策略控制为情况最恶劣的情况下即，己方没有抓到球，球还在己方半场，则退回己方半场的防守位。如果抓着球就移动到适当位置进行射击。

辅助角色的策略控制与攻击角色类似，故不再多加介绍。在未来的时候，辅助角色的策略控制会得到丰富，以实现更多的功能。

防守是指当球被对手持有时，前去阻截，防止射门。未来，将使用对于球的位置和球的速度将结合的方式，预测球的位置，作为守门员防守的策略。

4 参考文献

- [1] 崔连虎, 王祥科, 海丹, 郑志强. 应用于足球机器人的电磁射门机构的设计[J]
- [2] 刘伟. RoboCup中型组机器人全景视觉系统设计与实现[D]
- [3] 卢惠民. 机器人全向视觉系统自定位方法研究[D]
- [4] 樊国平. 智能PID控制系统的设计与研究[D]
- [5] 卢惠民, 肖军浩, 郑志强. ROS与中型组足球机器人[M]