

# “小米杯”初赛技术报告

## 1. 方案概述

本方案提出了一种基于视觉感知的自适应运动控制框架，旨在提升机器狗在复杂环境下的自主导航能力。该方案以视觉识别为核心，通过图像处理方法实现对赛道黄线、障碍物以及地形变化的实时感知。在环境感知方面，系统采用颜色空间转换与图像分割技术提取黄线特征，结合形态学滤波和霍夫变换实现路径检测，同时利用传统目标检测算法识别潜在障碍物并辅助导航决策。在运动控制方面，方案在小米运控公版代码的基础上，针对视觉感知结果进行了参数调优与步态策略的功能扩展，使机器狗能够根据赛道结构与地形差异灵活调整行进姿态，从而提升其在复杂场景中的通行能力与稳定性。

**运动控制节点：**这些节点主要负责控制机器人的运动。它们会创建 ROS publisher，向 /motion\_servo\_cmd 发布消息，这些消息里包含了速度、转弯角度、步态等运动参数，来指挥机器人完成特定的动作。

**主控制节点：**这个节点采用视觉分析图像，来判断该调用哪个运动控制节点

### （一）系统框图

如图 1 所示。

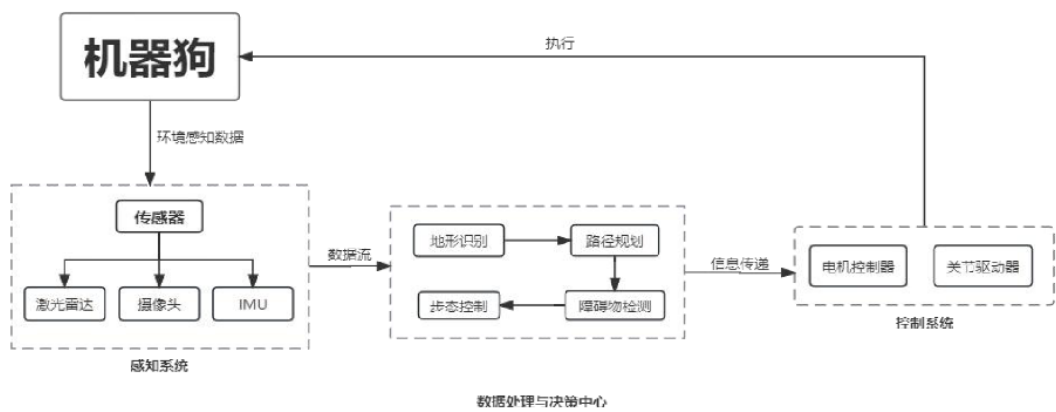


图 1 系统框架图

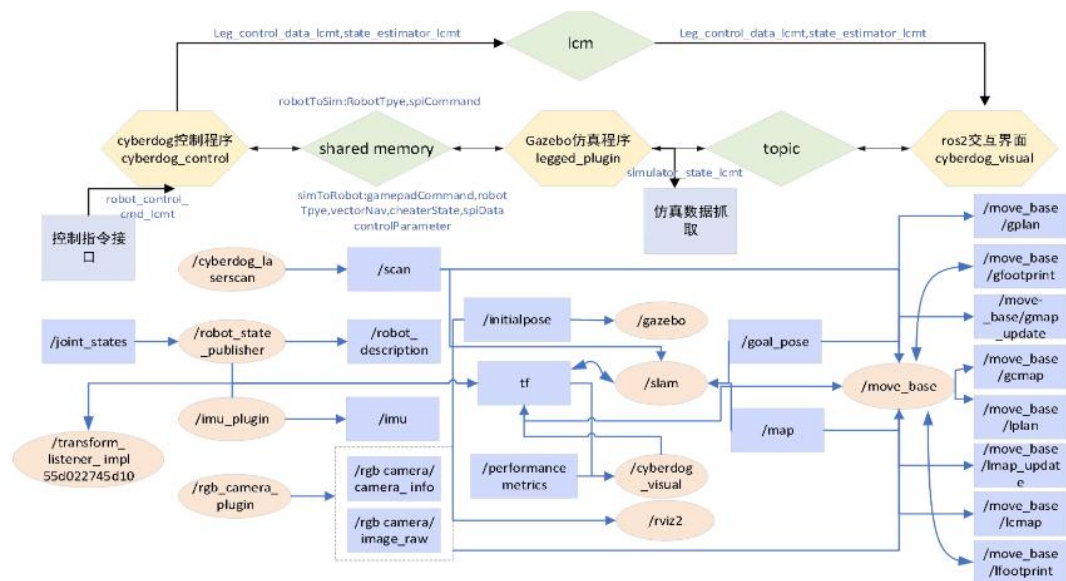


图 2 通信框架图

## 2. 创新点概述

本方案的创新点在于构建了一套基于传统计算机视觉的轻量级、自适应路径识别与导航控制框架。系统通过对视觉图像进行颜色空间转换，在 HSV 空间下利用阈值分割精确提取赛道黄线区域，结合形态学滤波有效去除噪声并增强边界连续性。在此基础上，采用霍夫变换提取图像中的直线特征，从而估计赛道中心线与前进方向，实现对路径的实时感知与调整。该方案不依赖深度学习模型或额外传感器，仅凭传统图像处理手段实现了对复杂路径的稳定跟踪，具备计算开销低、响应速度快、部署简便等优势。特别是在弯道、转角等结构变化明显的场景中，系统通过对直线角度的动态分析完成转向判断，确保了机器人在多样地形中的平稳行进。纯视觉策略下的路径感知与决策能力，使本方案在硬件资源受限或环境变化频繁的应用场景中展现出良好的实用性与鲁棒性，体现出明确的工程创新价值。

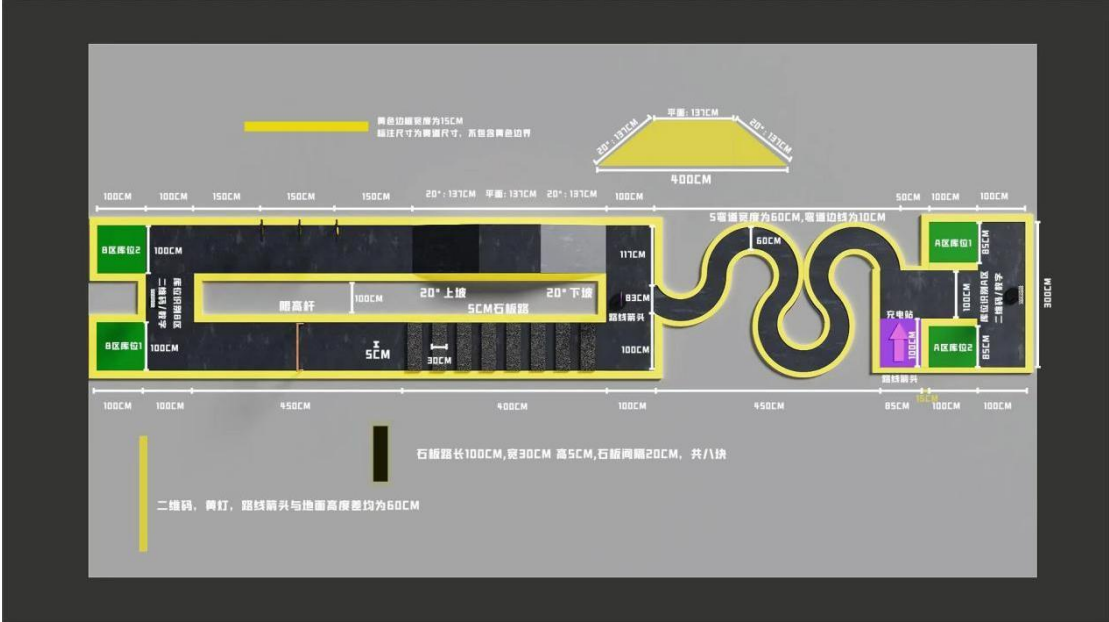
### 3. 关键技术

### 3.1 环境感知

在环境感知方面，系统采用基于传统图像处理的方法对赛道特征和地形变化进行识别。首先，通过将摄像头图像从 BGR 空间转换至 HSV 空间，结合设定的颜色阈值，提取出图像中的黄线区域，从而实现赛道边界的初步分割。随后，利用形态学开闭运算去除噪声、增强边缘连通性，以提高特征提取的稳定性。在此基础上，系统应用霍夫直线变换对黄线进行检测，提取其方向和位置等几何信息，用于估算赛道中心线并指导路径跟踪。在地形感知方面，通过对连续图像帧中黄线垂直位置的变化进行分析，判断其向上或向下的趋势，以此推断前方为上坡或下坡地形，从而辅助控制策略调整。该环境感知方案无需依赖深度学习模型，仅凭传统视觉算法即可实现对赛道结构与地形变化的有效识别，具有计算效率高、实时性强的优势，适用于资源受限的嵌入式系统平台。

### 3.2 导航及路线规划

机器狗的运动规划结合了预设路径和实时视觉信息。我们预先设定了赛道的大致方向，为自主运动提供初步引导。但仅靠这些预设信息不足以完成全程，其主要作用是为实时导航提供大致的行动框架。



导航主要依赖实时视觉感知。系统通过分析赛道黄线，精确定位机器狗相对于赛道中心线的偏差。然后，控制系统根据这些偏差，生成速度和转向指令，调整机器狗的运动姿态，使其尽可能沿着赛道中心移动。例如，检测到横向偏移时，系统会调整侧向速度和角速度以回到正轨；检测到航向偏离时，会调整角速度以校准方向；检测到弯道或障碍物时，机器狗会调整运动参数以安全通过。

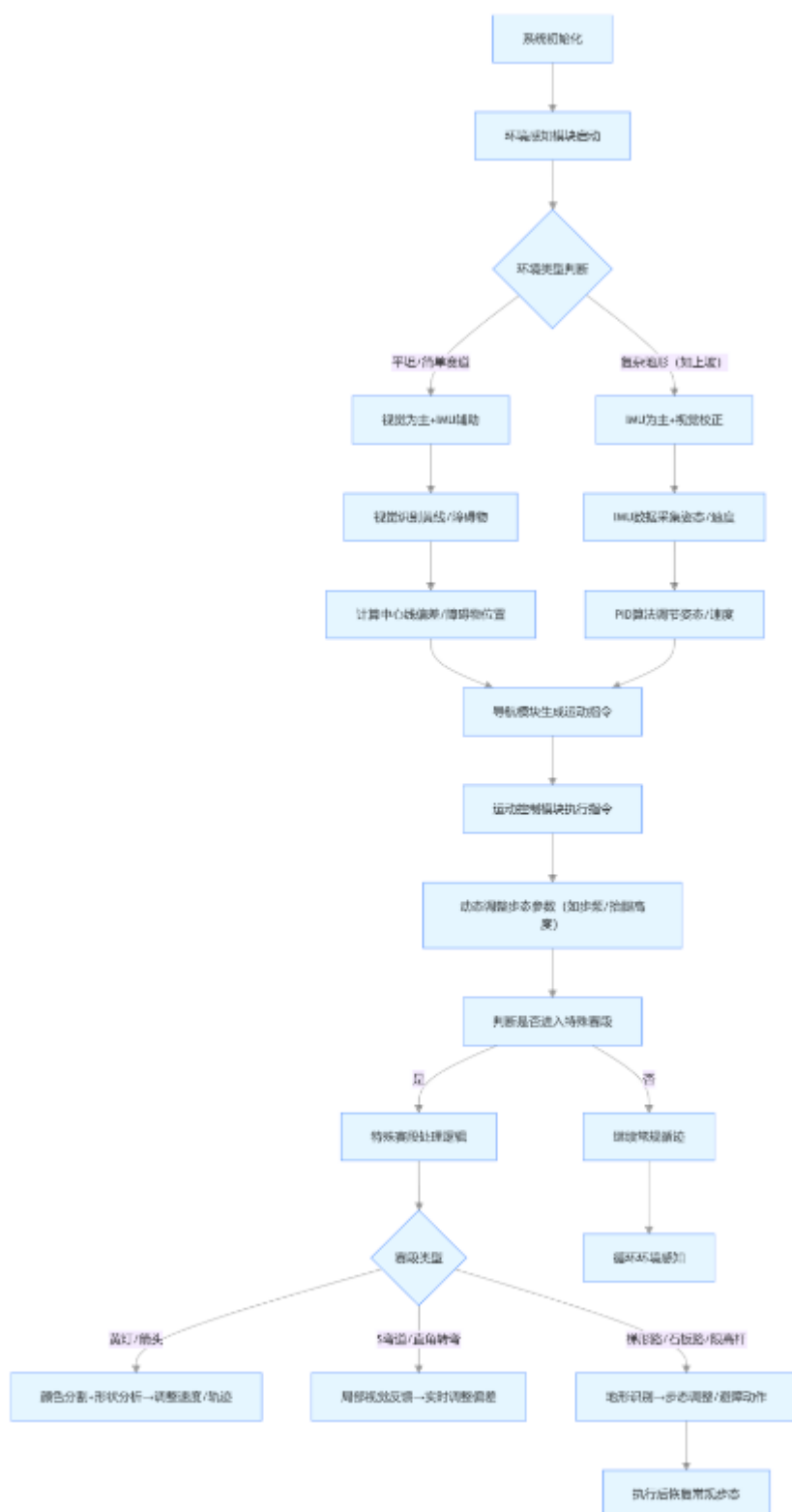
在 ROS 框架下，导航和控制被分解为多个协同工作的节点，信息在感知、决策和执行环节之间传递。本方案没有采用全局定位或地图构建，机器狗的运动仅依赖于当前的视觉感知和预设的粗略路径。

### 3.3 运动控制

本机器狗的运动控制系统构筑于小米运控公版代码之上，并针对特定任务需求进行了参数调整与步态功能的扩展。系统能够响应来自上层导航模块的运动指令，驱动机器狗执行预设的多种运动步态。这些步态涵盖了不同运动频率下的行走模式，如低速、中速和高速行走，以及特殊的运动模式如四足同步离地运动和前后足交替离地运动。本方案的基础巡航采用了官方提供的慢速行走步态（motion\_id: 303）。本系统的关键技术之一在于能够依据环境感知模块提供的道路类型信息，动态地调节运动控制参数。环境感知系统对前方地形的分析结果将被传递至运动控制模块，后者将基于这些信息，实时地优化步态的关键参数，例如抬腿高度、步频以及整体的行走速度，从而提升机器狗在不同环境下的运动适应性与稳定性。例如，针对上坡路段，系统可以调整步态参数以增强爬坡能力；而在平坦路面，则可采用更高效的步态参数配置。

运动控制指令的下发依赖于 ROS Topic "motion\_servo\_cmd"，其消息类型为

protocol/msg/MotionServoCmd.msg，包含了运动 ID (motion\_id)、指令类型 (cmd\_type)、指令来源 (cmd\_source)、期望速度 (vel\_des) 和行走时的抬腿高度 (step\_height) 等关键参数。运动控制模块订阅此 Topic，并根据接收到的指令驱动机器狗执行相应的运动。同时，系统通过 ROS Topic "motion\_servo\_response" 反馈当前的运动执行状态。



### 3.4 特殊赛段处理地形特征识别，选择的步态及越障策略

#### 1. 箭头、黄灯识别

对于黄灯的识别，我们的方案是首先将图像从 RGB 色彩空间转换至 HSV 色彩空间，因为 HSV 空间在颜色分割任务中通常表现出更高的鲁棒性。随后，在 HSV 空间内定义一个明确的黄色色彩范围，并提取图像中属于该范围的像素集合。通过对提取出的黄色像素区域进行分析，系统可以判定视野内是否存在黄灯信号。一旦识别到黄灯，机器狗的控制策略应包括减速或完全停止。

箭头的识别则更为复杂，我们的策略是，先利用颜色分割技术提取图像中具有箭头颜色的区域。然后，对这些候选区域进行细致的形状分析。形状分析的方法可以包括边缘检测结合霍夫变换，以识别区域内的直线段并分析其空间排布。在成功识别箭头后，系统还需进一步推断箭头的指向，并据此调整机器狗的运动轨迹。

#### 2. S 行弯道通行、直角转弯等

为了使机器狗能够稳定通过 S 弯道，本方案采用了一种基于局部视觉反馈的实时控制策略。该策略的核心思想是通过限定摄像机的视角，使系统专注于处理机器人附近区域的赛道信息，从而实现快速、准确的路径跟踪。具体而言，系统在每个控制周期内，首先从限定的图像区域中提取赛道黄线的像素信息，然后计算这些黄线像素的中线，以确定期望的运动轨迹。随后，系统计算机器人当前位置相对于该中线的横向偏差和角度偏差，这两个偏差是调整机器人运动姿态的关键依据。最后，基于计算得到的偏差值，系统动态地调整机器狗的线速度和角速度，其目标是使机器人始终保持在黄线路径的中心线上。通过这种方式，S 弯道被有效地分解为一系列连续的局部路径偏差，而机器狗则通过实时、精确的运动调整，实现对 S 弯道的平滑跟踪和通过。

在处理直角拐弯时，本系统的视觉识别模块被设计为能够检测前方出现的横向黄色标记线，从而预判弯道的临近。一旦检测到此特征，系统将启动对道路左右两侧边界的识别流程，以准确获取弯道的几何信息。在运动控制层面，系统采用了一种高效的策略：当确认进入直角弯道区域时，机器狗的线速度被立即置零，实现原地转向。为了确保转向的精确性，系统预先内置了与特定直角弯道相对应的角速度和转向持续时间参数。运动控制模块只需调用这些预设参数，即可驱动机器狗完成转向操作，显著提升了处理此类弯道场景的效率。

#### 3. 梯形路段、石板路、限高杆等

梯形路段处理：视觉识别方面，可以采用以下策略：首先，利用边缘检测技术提取地面轮廓线。然后，分析轮廓线在图像中的垂直位置变化。当轮廓线

在图像中持续向上移动时，可以判断为进入上坡路段；反之，当轮廓线持续向下移动时，则判断为进入下坡路段。此外，还可以结合纹理分析，上坡和下坡路段的纹理通常与平坦路面存在差异。运动控制方面，机器狗在上坡阶段会提升步频和俯仰角，以提供更大的驱动力和保持平衡；在下坡阶段，则会降低俯仰角和步频，以控制下行速度和稳定性。

石板路处理：石板为灰色实体，与黑色的道路形成对比，并且不遮挡黄色的赛道线。基于这些特点，视觉系统将通过颜色分割来识别石板路。一旦识别到石板路，运动控制系统会调整机器狗的步态参数，主要是提高抬腿高度，以避免足部与石板边缘发生碰撞，确保平稳通过。

限高杆处理：视觉识别方面，采用直线检测算法来检测图像中的水平线段。通过分析水平线段的位置和高度，可以判断是否为限高杆。一旦识别到限高杆，运动控制系统会执行相应的避障动作：先执行低头动作和降低俯仰角，使机器狗以较低的姿态通过限高杆，随后再恢复到正常的行走姿态。但这个方案表现并不理想，只能勉强通过，还需后续优化。

### 3.5 视觉识别算法设计

本机器狗的自主导航系统主要依赖传统计算机视觉算法来实现道路识别与路径规划。在实际应用中，视觉识别部分采用基于颜色阈值的图像分割方法，通过将图像从 BGR 空间转换至 HSV 空间，突出赛道特征颜色区域，进而使用设定的阈值进行二值化处理，以提取赛道边界。在得到初步的掩码图后，进一步引入形态学滤波操作，包括开运算与闭运算，有效去除图像噪声并连接断裂的边缘。为提取道路几何结构信息，系统采用霍夫直线变换算法检测图像中的线段，从中推导出路径的方向与偏移角度。霍夫变换返回的极坐标信息可用于估计当前路径的朝向，并据此调整机器狗的行进方向，从而实现对弯道场景的基本适应。整个系统通过持续分析图像中赛道边界的直线位置变化，配合预设的旋转阈值，控制机器人在保持前进的同时进行左右转向，构成一套完整的低计算成本路径跟踪策略。