

移动机器人导航与目标跟踪系统

摘要 介绍了一种移动机器人导航与目标跟踪系统的框架。导航和目标跟踪将使用 Microsoft Xbox Kinect 传感器执行,该传感器向运行 Ubuntu Linux 的机器人上基于 x86 的计算机提供 RGB 颜色和 3D 深度成像数据。针对机器人避障和目标跟踪的控制问题,提出了一种在计算机上实现的模糊逻辑控制器。由计算机收集的数据将被发送到服务器,以便使用基于学习的系统进行处理,这些系统利用神经网络进行模式识别、对象跟踪、长期路径规划和过程改进。这项工作的最终目标是创建一个能够在室外环境中自主工作的多代理机器人系统。

关键词移动机器人; 模糊逻辑; 路径规划; 神经网络; 学习系统

一、引言

针对移动机器人的导航和目标跟踪问题,提出了多种控制方案。用于导航的控制方案包括传统的控制器设计,如 PD 和 PID 控制器,以及采用模糊逻辑[1]和神经网络[2], [3]最常用的智能控制系统的控制器。在导航的情况下,大多数算法根据机器人工作环境中可用的数据提前规划路线,并且需要根据环境原始数据中未识别的局部干扰进行微小的实时校正。因此,导航算法可以结合冗长的模拟或其他非实时操作,与机器人的基本操作同步运行。导航和其他关键操作的并行处理允许机器人实时执行避障和目标跟踪,给系统中的其他代理留下冗长的计算。分离这些操作在许多移动机器人系统中很常见,这些系统允许分布式处理,在这些系统中,机器人不必计算自己的路径,例如[4]和[5]中的运动型机器人。此外,导航和其他关键操作的分离是使用远程或固定在机器人上的多台计算机或计算服务器来执行的。

除了 DARPA 大挑战外,许多研究人员还为自动地面车辆实施了类似的系统,包括[10]–[13]。前面提到的一些使用相机信息导航环境的系统的例子中,常见的是使用 Hough 变换或类似的方法来识别图像中的直线特征。在[3]和[12]中使用直线信息来识别图像中的标志,以便在帧之间进行比较,以便跟踪机器人在环境中的行进。对于大多数作品来说,识别 RGB 或深度图像中的可穿越区域也是很常见的。根据所穿越环境的特点,已经使用并提出了各种方法,通常依靠图像分割到不同的区域进行子处理[1]、[10]、[12]、[13]、[14]。接下来的部分研究了目标跟踪机器人的导航、地平面识别和模糊逻辑控制。各部分的顺序如下:移动机器人导航、对象识别、通过远程计算服务器进行监控、导航和目标跟踪。

二、移动机器人导航

移动机器人的导航包括路径规划和朝向目标的航向变化。计算智能理论所涵盖的系统可以辅助移动机器人的导航。本节将考虑路径规划和障碍物避免。

A. 差动驱动机器人动力学模型

机器人的控制需要基本的动力学模型。在这种情况下,我们描述了差动驱动机器人的模型,如图 1 所示。下面 (1) 中的术语 v_t 、 v_t 、 v_t 、 ω_t 和 1

是指右轮胎组的速度、左轮胎组的速度、机器人的平移速度、机器人的旋转速度以及左轮胎和右轮胎组之间的长度。

$$v(t) = (v_r(t) + v_l(t))/2 \quad (1)$$

$$\omega(t) = (v_r(t) - v_l(t))/L \quad (2)$$

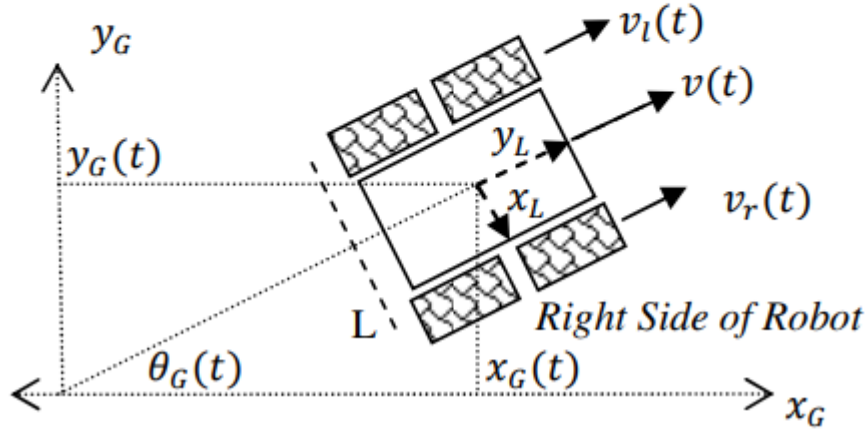


图 1: 差速驱动机器人模型

该动态模型将在第四节后面用于机器人的控制。

B. 物体识别

本文的目标识别是两方面的，一是识别环境中要跟踪的目标，二是识别机器人前方空间中的自由空间，用于导航。以下部分详细介绍了能够生成 RGB-D 图像的传感器，以及我们计划如何使用“实现图像处理”和“三维深度图像处理”。

1) RGB-D 传感器: 3D 深度成像传感器的成本和功率需求长期以来一直是其在小型廉价移动机器人上部署的一个限制因素。现在，随着微软的 Xbox Kinect 的推出，3D 深度成像的成本已经下降了至少 10 倍（与售价超过 1500 美元的激光测距仪相比），并且由于缺少移动部件而降低了功率需求，但倾斜控制电机除外，例如移动设备上常用的 3D 激光扫描仪中的电机。机器人。Kinect 是一款 RGB 相机，配有一个通过红外线工作的 3D 深度测距传感器[16]。该传感器提供对两幅图像的访问，一幅 RGB 图像和一幅 3D 深度图像。使用这两种图像的组合可以提供相当程度的对象识别能力。一个名为 OpenKinect[18]的开源软件项目提供了用于与 Kinect 接口以访问其传感器和电机的软件。本文使用 OpenKinect 获取本节后面介绍的深度和 RGB 图像。

2) 彩色图像识别: 在本节中，利用 RG 色度颜色空间，提出了自适应颜色处理边缘检测和颜色分割作为彩色图像识别程序的一部分。该程序将用于移动机器人的目标跟踪和导航。

a) RG 彩色空间：彩色图像处理中的一个主要问题是由于环境中局部强度的变化而引起的颜色的变化。为了减少这个问题，一个叫做 rg 色度的颜色空间被[4]、[5]用来从颜色的确定中去除光强度。下面（2）-（5）中列出了对 rgcolority 空间的变换。

$$r_{cr} = R/(R + G + B) \quad (3)$$

$$g_{cr} = G/(R + G + B) \quad (4)$$

$$i_{cr} = (R + G + B)/(3 * 255) \quad (5)$$

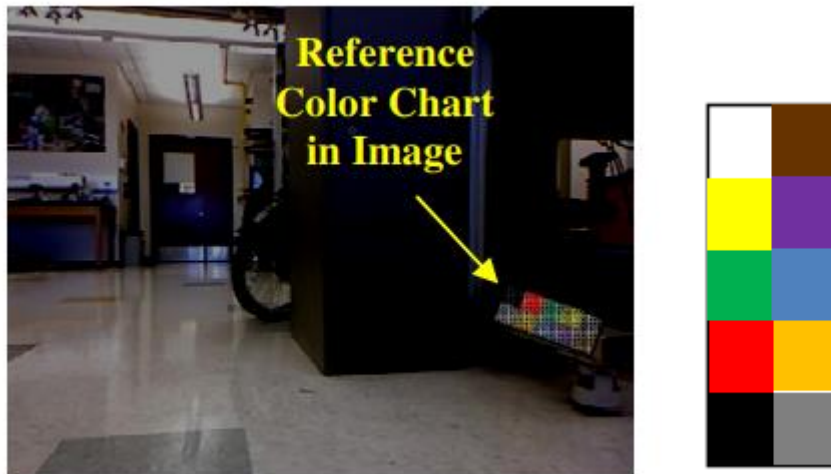
在红绿色度空间中，利用 RG 色度可以将原色和次色分离成特定的边界，具有一定的可靠性。考虑到这些边界，模糊逻辑可用于识别机器人系统中的某些颜色，这些系统依赖于颜色识别，如[4]所示，其中彩色摄像头用作全局视觉源，以识别机器人走的路径以及目标（高尔夫球）的位置。在系统中，机器人和目标都用特定的颜色进行标记，以帮助识别目标。研究人员在[18]中确定的 rg 色度的经验值示例如表 1 所示。

表 1. 用于 rgcolority 空间颜色识别的选定经验性结果[18]

COLOR	$r_{cr,min}$	$r_{c,max}$	$g_{cr,min}$	$g_{cr,max}$
Red	0.6	0.7	0.088	0.176
Orange	0.523	0.619	0.238	0.285
Blue	0.1	0.2	0.3529412	0.441
Black	0.2	0.3	0.2647059	0.352

检查表 1 中[18]的结果时，如[18]中所建议的，RG 色度空间中的颜色识别适用于模糊逻辑，因为每种颜色都定义在可能重叠的特定区域内。

b) 自适应颜色处理：在一个没有固定光源的清晰区域使用的系统中，自适应颜色处理算法比非自适应算法更适合使用。在[4]中，研究人员对光强度的变化进行了实验。在他们的实验中，他们在图像中放置了一个已知的颜色参考图，类似于下面图 2（b）所示的颜色参考图。在相机视图中的彩色参考图中，研究人员在拍摄图像帧的同时改变了室内光线的强度。在图像处理中，他们使用了一种动态校正算法，根据图像中存在的颜色参考图案，精确地将低光颜色校正为原始颜色。通过检索原始颜色，他们可以可靠地通过图像跟踪机器人。将神经网络训练为参考颜色模式，并用于识别图像帧中的参考图。从识别出的图案中，根据颜色和强度的差异，可以知道图像中的图案与颜色参考图之间的转换



(a) 图像帧

(b) 颜色参考图

图 2：包含参考色图表和原始颜色参考图

3) 颜色分割：结合使用 RG 色度颜色空间和光强校正，为彩色图像识别提供了两个必要的组成部分。图像可以进一步分割为包含与不同强度的主色、次色和三级色相似的颜色组件。对于颜色分割的图像，可以在图像帧中隔离已知为特定颜色的对象的候选对象，并进一步检查。

C. 三维深度图像识别

使用 Kinect 传感器拍摄的三维深度图像如下图 3 所示。在图像中，很明显图像提供的距离定义级别高于图 2 中由 RGB 相机拍摄的彩色 RGB 图像。可移动区域可以使用二维梯度和二维对数滤波器在深度图像中识别，如图 4 所示。

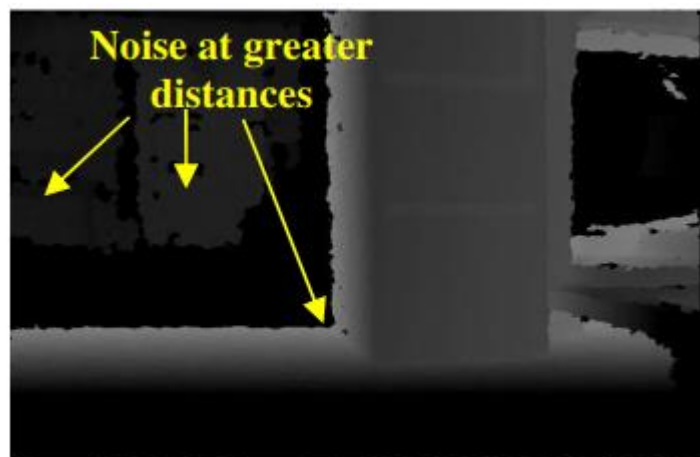


图 3：三维深度图像；深色区域表示前景中的近距离和图像背景中的噪声数据区域。



图 4：三维深度图像的对数滤波梯度；实-深灰色斑块表示图像的平坦可移动区域（用黄色表示）

深度图像的计划处理包括找到可穿越区域（如图 4 所示），并使用深度图像规划路线。在[1]中使用的一种方法是，将一个 RGB 图像分割为三个垂直列-中心、左和右，用于识别深度图像中的区域以避免障碍物。

三、通过远程计算服务器自主监控机器人

在自主机器人的实验过程中，记录机器人与环境的相互作用数据是提高机器人完全自主能力的关键。考虑到典型机器人的计算能力和学习算法收敛的时间，机器人不太可能进行实时学习。相反，我们建议使用服务器来收集现场机器人的数据，汇总数据以发现特定刺激的不期望行为趋势，并在机器人控制中提供监督作用。

A. 数据收集

本节假设机器人能够通过 Wi-Fi 连接到有线网络或通过 3G/4G 调制解调器通过互联网连接到服务器与计算服务器通信。每隔一段时间，机器人计算机上运行的各种进程收集的数据通过网络上传到服务器。上传到服务器的数据将被存储和处理。根据发送到服务器的数据类型，当数据在多个文件之间拆分时，应使用压缩容器发送数据。备份间隔之间的距离取决于数据速率和网络的延迟属性以及数据收集的时间敏感性。如果服务器提供机器人执行操作所需的时间敏感反馈，则备份将紧密间隔在一起。否则，数据事务的间隔会更大。

B. 数据汇总

要对上传到服务器的数据执行聚合，以识别许多不同的趋势。在对各种刺激的反应中发现的趋势可用于识别控制算法何时正常工作，而在控制算法不正常时可用于改善它们。日志包括记录在时间戳上与数据匹配的传感器数据的反应，可以通过在服务器上运行的专用进程来检查。

C. 机器人控制中的监督作用

远程服务器可以执行机器人控制中的监控角色。使用第四节后面开发的概念，计算服务器组件可以使用诸如神经网络或径向基函数网络创建的关联存储器等工具识别模式。以下是设计为联想存储器的神经网络的情况[19]：

- 一个被设计成联想记忆的神经网络需要一组或多组隐藏的神经元层，这些层被训练来识别输入向量中的模式。

- 训练向量可以是任意大小的，只要它们在向量中为识别提供足够的信息。对于灰度、彩色或深度图像，较小的压缩图像用作神经网络的训练向量，因为它减少了训练和识别模式的总时间。

- 训练后，网络被送入新捕获的输入向量（图像）进行识别。网络选择与新捕获的图像最相似的模式。

为机器人提供目标跟踪服务的联想存储器的设计将在未来的研究中提供。

四、机器人目标跟踪模式的模糊逻辑控制

A. 模糊规则的生成

根据目标跟踪和识别引擎提供的数据，可以生成目标跟踪规则。可用于模糊变量的数据包括机器人的平移和旋转速度，以及被识别目标的质心和相对大小。输入数据的模糊化过程如图 5 所示

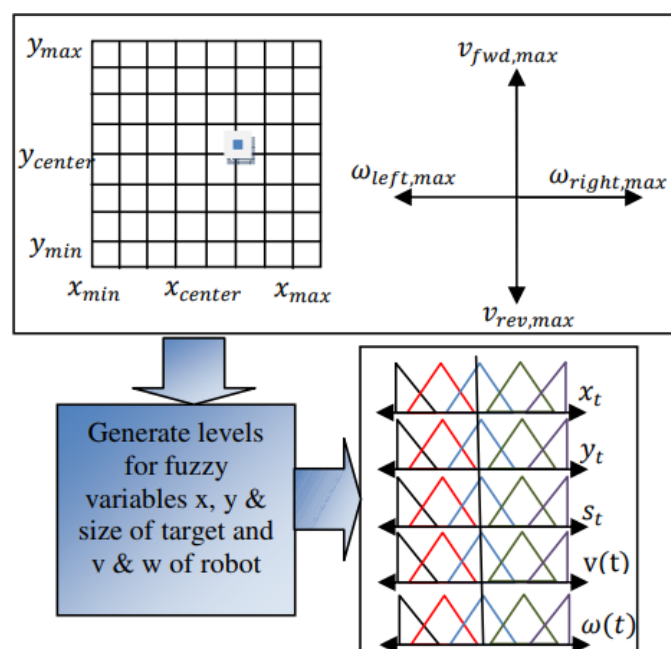


图 5：控制器模糊变量的生成

每个模糊变量的级别数是根据以下标准选择的：运动精度级别、目标大小、机器人速度范围。

B. 模糊控制器：

模糊控制器的例子如图 6 所示，用于图 5 中所述的数据。模糊控制器的过程如下：

- 如果已经找到目标，并且机器人要跟踪目标，则机器人开始跟踪模糊控制器输出。
- 模糊器接收来自微控制器的速度输入和来自目标识别和跟踪引擎的目标数据。
- 模糊推理机的输出被送入微控制器，以控制电机达到所需的平动和旋转速度。

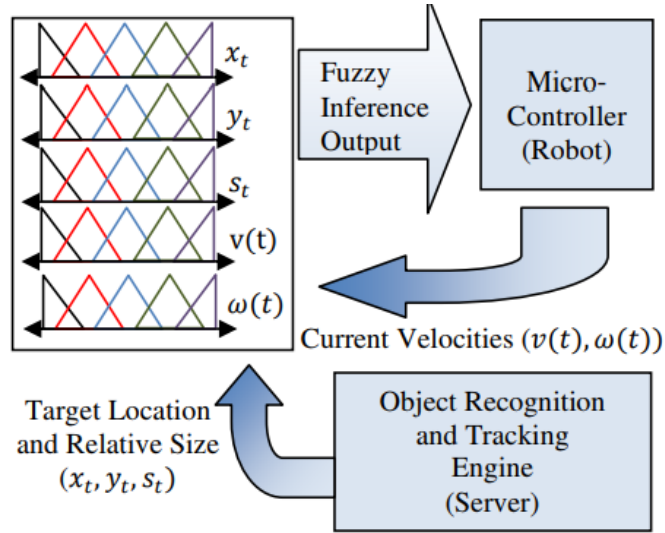


图 6：目标跟踪中机器人的模糊逻辑控制模式

图中还描述了每个模糊变量存在五个级别。假设模糊集包括以下内容，则为图 6 中的系统生成的模糊规则如表 2 所示：

- LN: Large Negative
- SN: Small Negative
- Z: Zero
- SP: Small Positive
- LP: Large Positive

TABLE II. EXAMPLE FUZZY RULES FOR CONTROLLER

RULE	x_t	y_t	s_t	$v(t)$	$\omega(t)$	$v^*(t)$	$\omega^*(t)$
1	LP	LP	LN	Z	Z	LP	SP
2	LP	LP	LP	Z	Z	SN	SP
3	LN	Z	Z	Z	Z	Z	LP
4	SP	Z	Z	Z	Z	Z	SN

在表 2 中，目标位置的值参考图像中心，相对大小参考原始尺寸测量值，小于参考值为负，负平移速度为反向，负旋转速度为向左旋转，并参考控制器处于下一状态。在最终控制器中，模糊规则的数量可能会比表 II 中所示的多，以实现更精细的控制水平。例如，规则 3 描述了以下情况：

- 被跟踪目标的质心在机器人的最左边。
- 机器人将在下一步快速向左旋转。

如果机器人旋转得太快，模糊控制器无法识别运动，这表明目标已经居中，目标现在更靠近机器人的右侧。另一条规则（如规则 4 的规则）可以触发以纠正超调，如下所述：

- 被跟踪目标的质心略在机器人的右侧。
- 机器人将在下一步缓慢地向左旋转。

五、结论

在检查基于视觉的机器人系统的可用资源时，移动机器人导航、路径规划和目标跟踪的控制器是可能的，并且已经为各种机器人和机器人系统实施。许多系统已经被创造出来，允许小机器人玩锦标赛式的运动，并让机器人自主导航室内和室外。更昂贵的系统的问题在于它们的可扩展性，因为它们使用了高端设备，并且需要计算能力。本文提出将低成本的三维深度成像和彩色成像相结合，以取代高成本的成像系统。为了提供必要的计算能力，我们建议使用远程服务器来执行目标识别和跟踪，以及对机器人性能的数据进行聚合。模糊逻辑将提供跟踪和导航目标所需的控制机制。目标选择与配准是本文尚未探讨的领域，也是未来研究的课题。

参考文献