

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.04.014

环境感知视觉信息处理技术在无人地面平台中的应用

田瑞娟

(中国兵器工业第五八研究所军品部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为快速、准确、全面地获取无人地面平台的内外部环境信息, 需对视觉图像处理在无人地面平台环境感知系统中的应用进行研究。介绍环境感知系统的组成, 对环境感知信息处理中的辅助标定, 路径检测与识别, 路标检测、定位与识别, 障碍检测与定位以及运动目标检测跟踪 5 大主要视觉信息处理技术进行阐述, 并对该技术当前应用的相关图像处理算法进行总结。该研究可为无人地面平台系统的环境感知技术提供参考。

关键词: 无人地面平台; 环境感知; 视觉处理

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Application of Environment Perception Vision Process in Unmanned Ground Platform

Tian Ruijuan

(Dept. of Armament Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

Abstract: In order to acquiring the whole internal and external environment information of unmanned ground platform quickly and correctly, research the application of vision video processing in unmanned ground platform environment perception system. The thesis introduces the constitute of environment perception system, describes the 5 major vision information processing technologies include assistant demarcating in environment perception information processing, path detection and recognizing, route sign detection, locating and recognizing, obstacle detection, location and movable object detection and tracking, and calculates the relative image processing algorithms of the technology. The research can give reference for environment perception technology of unmanned ground platform system.

Key words: unmanned ground platform; environment perception; vision process

0 引言

随着现代科学技术的高速发展, 依赖于视觉信息处理的智能系统在工业、航天、军事、服务等诸多领域得到了广泛应用, 并加大拓宽了计算机与各种智能机器的研究范围。反之, 应用领域的拓展, 对智能系统智能化程度的需求也越来越高。应用于军事、交通的无人地面平台或智能车, 就是其中的一种。

无人地面平台是一个集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等多种功能于一体的综合系统。其中, 环境感知是无人平台系统进行决策和规划的前提和基础, 在无人地面平台系统研究中, 占有非常重要的地位。平台的工作环境未知, 既可以是已知的、固定不变的结构环境, 也可以是复杂多变的非结构环境。如何实现对平台内部状态和外部环境信息的快速、准确、全面的获取, 成为环境感知系统“感觉”和“理解”浩瀚环境资源的基本原则和指导方针。因此, 笔者对其进行研究。

1 环境感知系统组成

无人地面平台环境感知系统一般分为传感器子系统、信息处理子系统和信息融合子系统 3 部分。传感器子系统实现环境信息的采集、数字化、预处理, 信息处理子系统将传感器采集数据进行相应数据滤波、处理、特征提取, 融合子系统实现信息的可靠性预估、数据关联和识别。

单一的传感器模式难以实现全面、准确的环境信息感知, 因此, 多模态传感器的综合应用成为无人地面平台环境感知系统的感知模式。环境感知系统将多模态传感器采集的环境信息进行实时分析处理, 并与多模态的信息融合, 将空间和时间上的互补与冗余信息依据某种优化准则结合起来, 提炼和产生对观测环境的一致性解释或描述, 从而为无人地面平台自适应路径规划和自主导航提供必要、可靠信息。

多模态传感器系统中传感器的选择可根据无人地面平台的主要应用环境不同进行不同种类的组

收稿日期: 2011-11-03; 修回日期: 2011-12-22

作者简介: 田瑞娟(1972—), 女, 天津人, 硕士, 高级工程师, 从事图像处理、机器视觉技术研究。

合。而主要的、常用于无人地面平台的传感器包括超声波传感器、微波雷达、毫米波雷达、激光雷达、红外线传感器、CCD 图像传感器等，而激光雷达又有一线激光雷达、四线激光雷达和 64 线激光雷达等等。超声波传感器、微波雷达、毫米波雷达、激光雷达等传感器能够检测其测定范围内具有一定宽度、高度的障碍物目标的距离、方位、宽度或高度信息参数，但是有不同程度的漏检率和依据环境影响造成的误检率。

视觉作为人类感知外部环境的重要渠道，以其独特的方式将丰富的环境信息传输进来。同样，采用仿生学原理，以视觉传感器信息为主的视觉导航作为无人地面平台的一部分，在实现无人地面平台自主化、半自主化的进程中占据着举足轻重的地位，发挥着至关重要的作用。在无人地面平台行驶过程中，作为无人地面平台“驾驶员”，通过视觉通道将交通信号、交通标志、道路标识、障碍物等路况信息全部接收进来，进行归纳、判断、识别，在实现道路识别、车辆跟踪、障碍物检测等功能中，起到了关键作用。

2 视觉信息处理在环境感知中的主要应用

在无人地面平台环境感知分系统中，视觉信息处理技术主要应用于其他传感器的辅助标定及自标定、路径检测识别、路标检测识别、障碍检测识别、障碍物跟踪等几个主要方面。

2.1 辅助标定

无人地面平台环境感知系统要完成对多模态传感器采集的大量冗余数据进行融合处理，首要条件就是要对各传感器进行标定和各传感器坐标系的确立，以及各坐标系之间的转换。视觉传感器以其丰富的信息和高精度的处理效果，在完成自标定的基础上，作为无人地面平台环境感知系统的主要传感器，往往能够胜任为其他传感器标定提供参考，使多传感器的数据能够准确匹配对应，从而提高环境感知系统的检测准确度，使环境数据更加可靠、统一与精准。

目前常用的视觉传感器标定方法可以归结为 3 类：传统标定方法、自标定方法和基于主动视觉的标定方法^[1]。传统的标定方法如直接线性变换法（DLT 方法）、Tsai 的两步法等，自标定法如利用本质矩阵和基本矩阵的自标定方法、利用绝对二次曲线和外极线变换的自标定方法等，而基于主动视觉

的标定方法如基于视觉传感器三正交平移运动的标定方法等。

在上述标定过程中，视觉信息处理的主要作用有 2 个方面：一为弥补或减少视觉传感器所存在的噪声造成的影响，进行图像增强，实现对感兴趣区域的特征或细节的凸显；二为实现对视觉图像特征信息的提取，如边缘、角点、圆或椭圆中心等。其中，去噪算法通常采用低通滤波方法，如邻域平均滤波和中值滤波，而基于计算量和保存细节等因素的考虑，中值滤波的效果较为理想。视觉图像特征提取主要包含标识点识别、边缘检测和标识点的定位。通常的边缘检测算法有 Sobel 算子、Canny 算子、Log 算子和 Laplacian 算子等，各算子针对不同环境下图像的边缘检测效果各有优缺点，但标识点的检测定位误差一般为 0.5 像素。

为了实现更高精度，标识点亚像素精度提取算法得到了深入研究，并取得了一定的研究成果，如基于三角光学系统的亚像素精度提取，以及基于椭圆拟合、重心法、高斯曲面拟合法的亚像素定位方法等，将定位精度提高到最高为 0.01 像素。

2.2 路径检测与识别

在无人地面平台的运行环境中，道路通常分为结构化道路和非结构化道路。结构化道路的典型代表如高速路等具有明显的车道线等标志，而非结构化道路的典型代表如乡间小路无车道线或标记、路与非路的边界模糊、道路形状不平滑等特点。一般情况下，对路径的检测采用高斯滤波和平均值确定灰度标准方差，利用梯度计算导航路径的左、右边缘，或直接用边缘检测算子提取图像的梯度边缘，再利用 Hough 变换在图像的一定搜索区域内实现直线形式的道路边界提取。

路径检测算法也可依据所检测道路的特点进行针对性选择。如结构化道路，针对其路与非路区域或路与车道线具有明显的可视边界特点，采用区域检测法、边缘检测法、道路形状检测法等算法能够比较准确地检测出道路边界。而非结构化道路的检测方法主要为基于特征和基于模型 2 类，或 2 类算法的综合^[2]。特征检测法如颜色检测法、灰度特征检测法、纹理特征检测法等，而基于模型的方法，则需确定道路的假设模型，如图 1 所示的常用模型，还有较复杂一些的 B 样条曲线模型等。最终将模型与真实道路图像分割的边缘进行匹配实现。

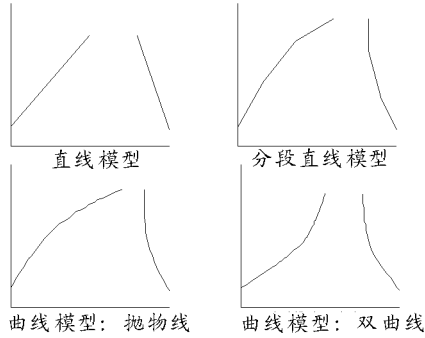


图 1 道路的假定模型

在路径检测与识别过程中，视觉图像处理对路径检测精度的主要影响除了图像梯度边缘模糊、形状不规则以外，最主要的影响来源于阴影遮挡。在不同的道路环境中阴影所表现的特点不同，呈现出阴影区块分布无规律、形状无规律、灰度值分布无规律。针对上述特点环境下的路径检测，当前研究和应用的主要算法是采用神经网络的训练和学习实现对阴影的识别，再对车道线进行拟合，完成道路边界的检测。

路径检测结果最终要提供的主要是平台运行的导引线。最简单的导引线可采用检测到的右侧车道线，而通常情况采用道路的中心线，中心线的检测有如图 2 所示的 2 种方式。左图为按一定的跨度搜寻道路边缘的水平线段的中点^[3]，将各中点直线连接，就形成了导引线；右图为采用一定的跨度，将道路边缘内切圆的圆心点^[4]直线连接，形成导引线。

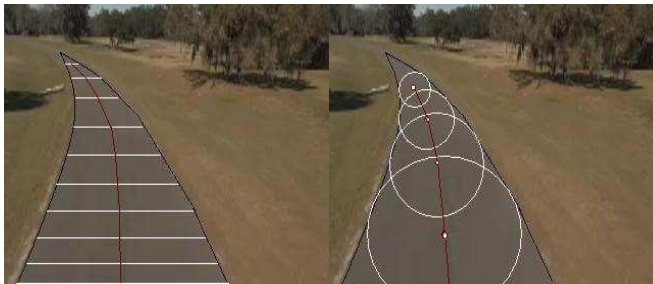


图 2 路径导引线检测

2.3 路标检测、定位与识别

路标是交通的重要信息，路标的正确识别为无人地面平台结构化道路路径规划和导航中提供重要的路况信息。而受复杂背景、光照变化、拍摄角度等因素的影响，很难实现非常准确和实时的路标检测与识别。因此，深入研究路标检测与识别仍是无人地面平台环境感知的重要研究内容。路标的视觉处理通常包括路标图像的滤波、路标的检测定位、

特征提取和路标识别几大过程。

路标的检测算法通常分为颜色检测与形状检测 2 大类，如图 3 所示。颜色特征检测是进行路标检测的首要步骤，利用“选择性注意机制”，将路标特定颜色作为自主式搜索的主要特征实现快速路标区域检索。颜色检测的彩色空间较多选用 RGB、HSI 和 HSV，算法种类很多，如颜色向量的阈值法、聚类法、直方图法、距离法、颜色表法等^[5]，在一般情况下都能取得较好的检测效果。基于形状的检测是颜色检测结果图像的后续路标检测处理。视觉图像形状分析方法主要为 2 类：基于边缘和基于区域。通常的形状检测方法如 Hough 变换法、模板匹配法、图形编码法以及拐角检测法等实现路标圆形、三角形、矩形等的形状检测^[6-7]。

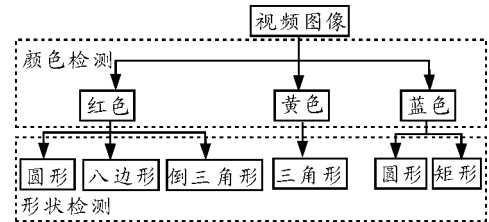


图 3 路标检测定位

颜色和形状检测已将路标进行了一定程度的分类识别，但同样颜色和外形路标仍包含多种路标，如蓝底、圆形的路标。因此，还需要对路标一些特征参数进行提取，实现进一步分类识别。在该阶段的路标识别算法有匹配法、统计分类法、神经网络分类法、句法分类等。各类算法依据采用的特征不同而不同。如匹配法又包括点匹配、边缘线匹配、闭合轮廓匹配和高级特征匹配等；统计分类法如 SVM^[8]等，神经网络分类法如 BP 神经网络、RBF 神经网络算法等。在路标图像检测精度较高的情况下，各种识别算法的识别精度都能达到 90% 以上。

造成路标检测过程中误检和漏检的原因较多，如路标牌本身的污损、变形、褪色、遮挡、倾斜，以及其他外部原因如光照、背景复杂、视频的运动模糊等等。而信息量大、运算处理量大也是当前制约快速、精准的路标识别的主要原因。

2.4 障碍检测与定位

障碍目标的检测与定位是无人地面平台实现地图构建与避障规划的基础，检测与定位的准确性影响无人地面平台后续处理对避障策略的选择和运行控制的实施效果。

在结构化道路(如城市公路、高速路)障碍检测

中,路面特征单一,利用障碍物与路面的明显特征区别,进行基于视觉图像处理方法的障碍检测与定位凸显出视觉图像处理的独到优势。障碍物的种类可分为静障碍和动障碍,静障碍又分为凹障碍和凸障碍,如沟壑、路障,动障碍如人、汽车等。视觉图像处理通常应用在动障碍及凸障碍检测中,其检测方法因检测环境的不同而不同,一般多采用对背景特征的预估,如地面图像的灰度、颜色、纹理、频谱等特征,以一定的判断准则,如阈值、相似度、熵等,将图像道路区域异于地面特征的区域确定为障碍区域。将障碍区域进行相应的规范化处理后,提取障碍目标的特征,如几何特征、纹理特征和边缘特征等。选择具有一定稳定性的特征作为障碍目标跟踪过程中的模板,实时校正与更新,实现动障碍的检测与跟踪。融合激光雷达等传感器的障碍检测的信息,可得到更加精确与全面的障碍目标的特征数据^[9]。精确的目标宽度、方位、距离、速度等数据的实时分析,为障碍目标碰撞威胁的可靠评估提供依据。

另外,仿照人体双目成像原理,立体视觉三维成像也被引入到无人地面平台视觉动障碍检测定位方法中。首先建立先验知识障碍目标特征库,通过对双目视觉图像进行目标跟踪、特征配准,结合双目摄像机的标定参数、坐标转换,实现对动障碍目标的定位、识别与障碍特征数据库的更新与完善。

2.5 运动目标检测跟踪

无人地面平台环境感知中图像跟踪主要对象是疑似路标、障碍物等。在路标检测、识别与障碍检测、识别中,对检测到的远距离的疑似路标和障碍物体进行跟踪,使无人地面平台接近该物体过程中,不仅对路标、障碍的识别准确性提高,也在一定程度上关注该疑似目标,提高了目标的检测识别速度。

在无人地面平台中,基于视频图像处理的目标跟踪主要作为其他视频处理功能的辅助功能,因此,在目标跟踪处理模块应尽量采用不占用太多内存、运算量相对要少、提取的目标特征相对简单的跟踪算法对目标进行跟踪。针对上述要求,系统的跟踪模式可根据跟踪与检测的先后关系,采用先检测后跟踪、先跟踪后检测和边检测边跟踪 3 种模式,第 3 种模式目标检测和跟踪相结合的模式具有更好的跟踪效果,利用跟踪为检测提供处理的对象区域,利用检测为跟踪提供目标状态的观测数据。而用于

目标匹配提取的目标特征不同,目标跟踪方法又可分为基于颜色、形状、区域、视图以及点特征等目标跟踪^[10],在不考虑目标被遮挡、目标溶于背景、环境过于复杂等情况下,均能取得较好的效果。

3 亟待解决的问题

基于视觉信息处理的无人地面平台相关技术在军用武器装备、交通、医护以及日常生活等多方面都有着广泛的应用前景和拓展空间。随着应用需求的不断增加,无人地面平台载体的环境更加趋于复杂化、载体运行方式多变、运行速度更加快速,给予环境感知的视觉信息数据越来越多,而在信息处理效率和准确性等方面也提出了更高的要求。因此,亟待解决的问题也相应地越来越多,如:

1) 实时性:以 PAL 制式摄像机采集图像为例,若要达到实时性要求,视觉信息处理算法要在 40 ms 内完成对一帧图像数据的处理与传输,而一般简单的处理算法很难满足复杂环境下处理结果需要的高准确性,而基于更深层次研究出的较高准确性的算法在工程应用中,若要满足实时性要求,则对硬件的处理能力,以及软件的优化、代码优化上提出了更高的要求。

2) 低延迟:处理算法的实时性保证了对每帧图像数据的及时处理,而低延迟则要求视觉信息从获取、传输、处理、结论数据生成整个过程的时间越短越好,确保系统感知实时的外部环境。低延迟问题的解决则是在保证实时性的基础上对视觉信息数据采集的硬件架构和数据传输方式进行相应改进。

3) 高准确率:为了系统感知环境的准确性,以及确保系统的安全性,需要视觉信息处理提高检测的准确性,在某些算法的选择及应用上注重环境适应性、鲁棒性。

4) 高清晰:解决随着载体的运行速度的加快,图像的运动模糊也随之加剧,造成图像处理误报率或漏检率的增加,解决图像模糊问题势必从提高帧频、稳像算法的应用等入手,但同时会提高图像处理算法的实时性和准确性的要求。

4 结论

由于采集的视觉信息数据最为接近“驾驶员”双目摄取的环境信息,因此,视觉图像处理成为最为重要和最具研究价值的无人地面平台环境感知方式。然而,目前基于视觉信息的图像处理技术远无法达到人类大脑对视觉信息的智能化处理能力。因

此，随着无人地面平台技术的发展，从遥控到半自主化和自主化的模式转变，还需要在丰富的视觉信息中更加深入地挖掘、发现和总结更多的未知特征信息，从而提升无人地面平台的智能化水平。

参考文献：

[1] 郑志刚. 高精度摄像机标定和鲁棒立体匹配算法研究 [D]. 北京：中国科技大学, 2008.

[2] 王晓栋, 徐成, 刘彦. 一种实时鲁棒的非结构化道路检测算法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(7): 2763-2765.

[3] 华冰, 黄席樾, 黄瀚敏, 等. 基于道路中心点的分道线检测算法[J]. 重庆工学院学报, 2008, 22(3): 82-86.

[4] Chris Urmson, Joshua Anhalt, Drew Bagnell. Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge [J/OL]. Journal of Field Robotics, 2008, 25(8):

425-466. <http://www.interscience.wiley.com>.

[5] 杨佳, 黄玉清, 陈小宁. 基于区域生长的机器人路标识别方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(13): 3410-3412.

[6] 徐华青, 陈瑞南, 林锦川, 等. 道路交通标志检测方法研究[J]. 福州大学学报, 2010, 38(3): 387-392.

[7] 杨久龄, 唐琤琤, 贾梅, 等. GB5768-1999 道路交通标志和标线[S]. 北京：中华人民共和国交通部, 1999.

[8] 易东, 黄玉清. 基于 SVM 的移动机器人路标识别算法[J]. 兵工自动化, 2009, 28(8): 58-67.

[9] N. Kaempchen. Feature-Level Fusion of Laser Scanner and Video Data for Advanced Driver Assistance Systems[D]. Germany: ULM University Doctor degree dissertation, 2007.

[10] 田瑞娟. 基于快速区域标签运算的目标跟踪算法[J]. 兵工自动化, 2008, 27(9): 75-78.

(上接第 34 页)

针对等截面环隙柱形口的环隙气流减速效应，为了有效地控制间隙、确定整流关键尺寸，笔者选取 10 组不同 d/D 比值，应用改进的 SSTk- ω 湍流模型式 (1)，分别进行数值模拟，并采取最小二乘法进行数据拟合，得到 d/D 、 $\Delta x/L$ 和 V_{avg}/V_{in} 的三者关系曲线如图 8。其中， Δx 表示流体达到稳定时距气流入口处的距离、 V_{avg} 表示气流稳定后的平均速度。

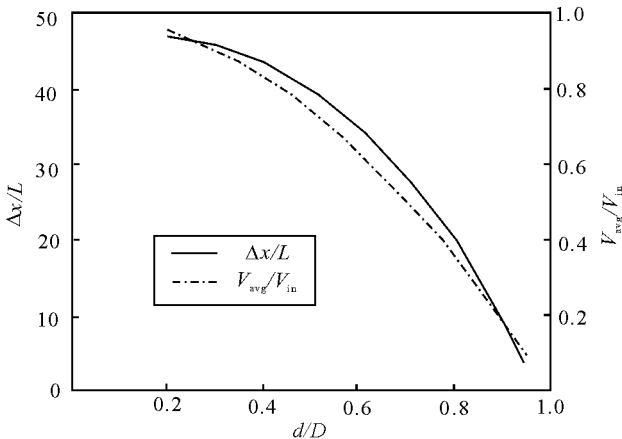


图 8 d/D 、 $\Delta x/L$ 以及 V_{avg}/V_{in} 的关系图

由图 8 可看出， d/D 比值越大，即环隙越小，气流速度对称恢复能力越强，但管内平均速度也越小，即稳定后气流动能越小。

3 结束语

数值模拟结果证明：变截面喇叭口可以使非对称入流更流畅地进入管道，同时使气流提速，但却拖延了气流稳定发展的速度；截面环隙柱形口具有

使气流减速、速度截面分布均匀快的特点，并且环隙小有利于气流速度对称恢复。因此，等截面环隙柱形孔对气流的整流作用更明显。

另外，流体到达稳定的完全发展状态受到壁面摩擦阻力系数 C_f 、附面层 δ 发展以及平均速度等多方面因素的影响，对高速可压缩气流的流态响应则更为复杂。下一步，笔者将在此基础上进行流体动力学实验，优化等截面环隙柱形孔实际模型，以确定最佳 d/D 比值。

参考文献：

[1] 段毅, 杨永, 张强. 二维超声速横侧喷流湍流数值模拟 [J]. 空气动力学学报, 2005, 23(4): 506-510.

[2] 周宇, 邓有奇, 马明生, 等. 两方程湍流模型中参数影响的初步分析[J]. 空气动力学学报, 2010, 28(2): 213-220.

[3] 李映平. 引信压电发电机原理及试验研究 [D]. 南京：南京理工大学, 2006.

[4] 严明, 宿兴远, 巍然, 等. 应用改进的低雷诺数湍流模型预测转捩流动[J]. 航空动力学报, 2009, 24(12): 2683-2688.

[5] A. Japper-Jaafar. Laminar, transitional and turbulent annular flow of drag-reducing polymer solutions[J]. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2010, 165(12): 1357-1372.

[6] C. Lada, K. Kontis. Experimental Studies on Transitional and Closed Cavity Configurations Including Flow Control[J]. Journal of Aircraft, 2010, 47(12): 723-729.

[7] Shen WZ, Michelsen JA, Sorensen NN, et al. An improved SIMPLEC method on collocated grids for steady and unsteady flow computations[J]. Numerical Heat Transfer, 2003, 43(12): 221-239.