

文章编号: 2095-4980(2016)05-0784-06

用于违章停车车辆自动取证的四轴飞行器系统

张 鹏, 谢 焯, 冯 辉, 胡 波

(复旦大学 信息科学与工程学院 智慧网络与系统研究中心, 上海 200433)

摘 要: 借助于计算机视觉技术实现了一种基于四轴飞行器的违章车辆取证系统。四轴飞行器在巡检路段上空飞行过程中, 通过训练好的支持向量机(SVM)车辆检测算法自动检测视野中的违章停车车辆。如违章停车车辆存在, 四轴飞行器将根据视觉处理结果自动调整姿态, 便于摄像头以合适的尺度和角度识别车牌; 最后通过模式识别技术捕捉视野中车辆的车牌并向地面站传输证据。与传统的人工巡检和基于道路固定摄像头的方案相比, 本系统更灵活、高效, 可以作为交通智能化管理新的解决方案。

关键词: 四轴飞行器; 车辆检测; 车牌识别; 姿态控制

中图分类号: TN925.93

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201605.0784

A quadcopter system for illegally parked vehicle inspection

ZHANG Peng, XIE Xuan, FENG Hui, HU Bo

(Research Center of Smart Networks and Systems, School of Information Science and Engineering,
Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: A quadcopter system for illegally parked vehicle inspection is implemented by means of computer vision technology. When the quadcopter patrols a specific area, the system automatically detects illegally parked vehicles in vision through the pre-trained Support Vector Machine(SVM) detector. If the vehicle exists, the quadcopter adjusts its own attitudes to an appropriate place according to the processing results in order to recognize the plate license. The pattern recognition technology is applied to extract the plate license and transmit it to the ground station. Compared with the traditional manual inspection method and algorithms based on fixed cameras, the proposed system is more flexible and efficient, which can serve as a new solution to the intelligent traffic management.

Key words: quadcopter; car detection; license recognition; attitude control

随着城市的快速发展, 城市交通日益发达, 人们拥有的私家车的数量也逐渐增加, 伴随而来的违章停车问题亟待解决。传统的违章停车问题主要通过交警现场取证解决, 不仅需要大量的人力财力, 效率也比较低, 且无法实现实时监控。目前出现的智能监控系统^[1-3]等都是基于道路固定摄像头, 存在成本高、监控视野受限和缺乏灵活性等缺陷, 也无法很好地解决管理违章停车的问题。四轴飞行器是多轴旋翼飞行器的一种, 通过调节不同旋翼之间的相对速度来调整扭矩, 实现控制飞行器的姿态和位置^[4-5]。与固定翼无人机和直升机相比, 旋翼飞行器因具有三维空间中机动性强、具备悬停能力等特点, 近年来得到了越来越多的关注^[6]。如文献[7-8]分别基于四轴飞行器实现了气源定位(Gas Source Localization, GSL)的功能; 文献[9]展示了如何基于开源软件 Paparazzi 实现基于 GPS 的无人机群控制; 文献[10]介绍了如何将 AR-Drone 作为机器人研究和教学的平台; 文献[11]基于计算机视觉和四轴飞行器实现了对一片区域的最大范围覆盖等。通过这些应用可以看出, 四轴飞行器作为新的开发平台将有很大的应用场景。本文利用四轴飞行器灵活轻巧的特征, 使其搭载高清摄像头对特定区域进行自主巡航, 实现代替交警对该区域违章停放的车辆进行拍照取证的目的, 作为解决违章停车问题新的解决方案。

1 系统描述

1.1 硬件系统框图

该系统硬件由 3 部分构成, 即地面站(Ground Station)、机载主控板和四轴飞行器飞行平台, 硬件框图如图 1

所示。其中地面站负责路径采集、路径设定、状态参数显示等功能；机载主控板通过无线链路与地面站进行通信，并通过飞控接口控制四轴飞行器的姿态，实现全自主飞行。

1.2 软件系统流程图

该系统的软件框架主要由 4 部分构成，即基于 GPS 的自主巡航模块、车辆检测模块、四轴飞行器的自动姿态调整模块和车牌识别模块，软件工作流程如图 2 所示。

基于 GPS 的自主巡航模块按照地面站设定的路径信息对特定区域进行自主巡航，期间实时调用车辆检测模块进行违章停车车辆的检测，若检测到违章停车车辆，四轴飞行器根据视觉处理结果自动调整姿态至适合车牌识别的位置，最后进行车牌识别和拍照取证。之后四轴飞行器继续按照规划路径巡航，系统的概念图如图 3 所示。

2 系统实现

2.1 车辆检测

在自动巡航过程中，若直接对获取到的图像进行车牌识别，则实时性较差且准确率较低。考虑到车牌与车辆的依附关系，可以先进行车辆检测，以限定车牌搜索的范围来提高实时性和准确率。本文采用支持向量机(SVM)来实现车辆检测过程^[12]。

SVM 的主要工作原理是将训练集中的 2 类数据映射到高维的特征空间中，使其在该空间中线性可分，并找到该空间中能够区分 2 类数据的最大间隔超平面。假定支持向量构成的集合为 S_s ，其中的支持向量用 $x_i \in S_s$ 表示，分类标签为 t_i ，则对于未知样本 x 的分类标签，可以通过解方程(1)^[13]

$$y(x) = \text{sign}(\sum_{x_i \in S_s} t_i a_i (x_i \cdot x) + b) \quad (1)$$

来求得，式中 a_i 为拉格朗日乘子，由训练可得。

为了提高系统的鲁棒性，数据的特征采用方向梯度直方图(Histogram of Oriented Gradient, HOG)^[14]来描述。正样本为包含车辆的 13 736 张图片(部分样本来自文献[15])，大小归一化到 96×112 像素，对应的标签 t_i 为 1，如图 4 上部所示(出于隐私保护，本文中的车牌已经经过马赛克处理)；负样本选取为实景中不包含车辆的 37 680 张图片，大小同样归一化为 96×112 像素，对应标签 t_i 为 -1，如图 4 下部所示。HOG 特征提取中细胞大小为 8×8 像素，块大小为 16×16 像素，移动步长为 8×8 像素，梯度方向区间个数为 9，总特征维度为 5 148 维。经过 HOG 特征提取，一个 96×112 像素大小的训练样本最终可以用一个 5 148 维度的向量表示，用作 SVM 训练和检测。

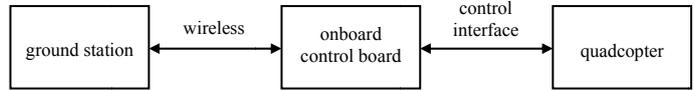


Fig.1 Hardware diagram
图 1 硬件框图

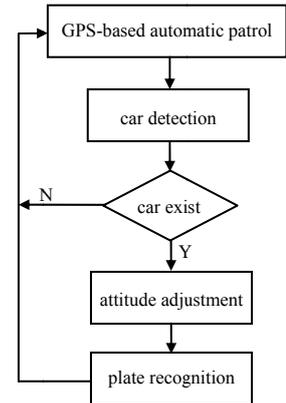


Fig.2 Software architecture of the system
图 2 系统软件框图

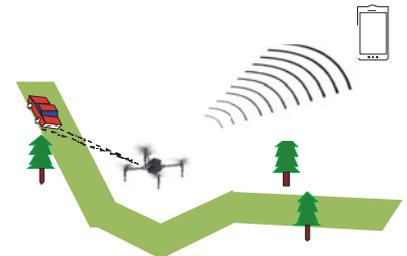


Fig.3 Concept map of the system
图 3 系统概念图



Fig.4 Examples of positive and negative training data
图 4 正负样本示例

2.2 四轴飞行器的自动姿态调整

由于违章车辆停放位置的不规则性，当系统检测到车辆时，四轴飞行器与车辆的相对位置可能不利于车牌识别，如图 5(a)所示，此时车牌位于图像的边缘且车牌尺度太小。为了提高车牌识别的准确率，四轴飞行器需要进行姿态调整，直至合适的位置，即 a) 图像中车牌的位置位于图像的中心附近，b) 图像中车牌的尺度足够大，如图 5(b)所示。

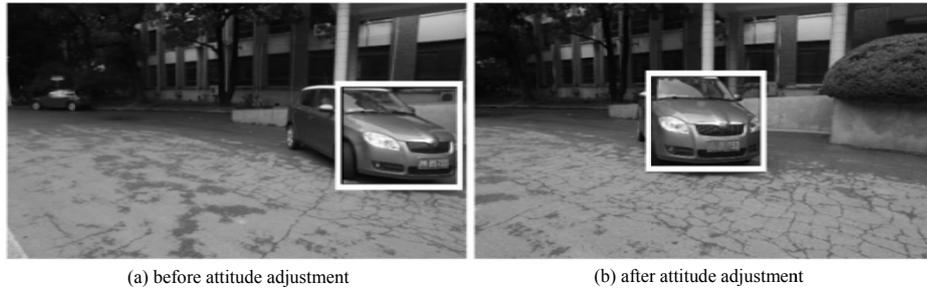


Fig.5 Necessity of attitude adjustment
图 5 姿态调整的必要性说明

根据成像原理建立如图 6 所示的成像模型，其中 x_p, y_p, z_p 是以车牌中心为原点建立的坐标系，分别指向车牌的右侧、上方和车头方向； x_c, y_c, z_c 为摄像机坐标系，并假定分别与 x_p, y_p, z_p 平行； u, v 为摄像机成像平面坐标系，且 z_c 与成像平面相交于点 (c_x, c_y) 。

在以车牌建立的坐标系中，四轴飞行器的位置状态矢量用 $\mathbf{p} = [x_c, y_c, z_c]^T$ 表示，输入控制矢量为 $\mathbf{V} = [v_x, v_y, v_z]^T$ ，分别表示四轴飞行器在 x, y, z 三个方向上的控制速度输入。输入控制矢量在 Δt 的时间内均为常量，所以四轴飞行器的运动模型如下：

$$\begin{cases} \mathbf{P}_{t+\Delta t} = \mathbf{P}_t + \mathbf{V} \cdot \Delta t \\ \mathbf{V} < \mathbf{V}_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

式中 \mathbf{V}_{\max} 为输入控制矢量的上限阈值。

根据四轴飞行器和车牌的相对位置，在摄像机坐标系中，车牌的状态用矢量 $\mathbf{Q} = [-P, \Delta X, \Delta Y]^T$ 表示，其中 $\Delta X, \Delta Y$ 为车牌的实际尺寸 (440 mm × 140 mm)。根据成像原理，车牌在成像平面上的投影用齐次坐标表示为 $\mathbf{q} = [x, y, z, \Delta x, \Delta y]$ ，即：

$$\mathbf{q} = \mathbf{M}\mathbf{Q} + \mathbf{n} \quad (3)$$

式中： $x, y, \Delta x, \Delta y$ 分别表示车牌在成像平面上的坐标、宽度和高度； $\mathbf{M} = \begin{bmatrix} f & 0 & c_x & 0 & 0 \\ 0 & f & c_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & f \end{bmatrix}$ 为与摄像机内参数有

关的矩阵； \mathbf{n} 为投影过程中引入的噪声。

为了得出四轴飞行器姿态调整过程中的控制输入，根据四轴飞行器的运动模型和成像模型，构建了如下优化过程：

$$\begin{cases} \mathbf{V}^* = \arg \min J(\mathbf{q}, \mathbf{q}') \\ s.t. \quad \mathbf{P}_{t+\Delta t} = \mathbf{P}_t + \mathbf{V} \cdot \Delta t \\ \quad \mathbf{Q} = [-P, \Delta X, \Delta Y]^T \\ \quad \mathbf{q} = \mathbf{M}\mathbf{Q} + \mathbf{n} \\ \quad \mathbf{V} < \mathbf{V}_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

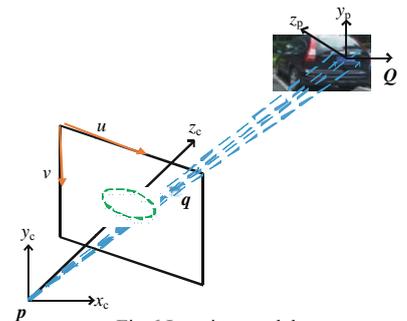


Fig.6 Imaging model
图 6 成像模型

式中： $q' = [u_0, v_0, \Delta x', \Delta y']$ 为车牌在成像平面上的理想位置和尺度参数的状态矢量； J 为车牌成像 q 与 q' 的误差函数。通过求解该优化问题，可以得到四轴飞行器的控制输入矢量。

2.3 车牌识别

经过车辆检测和四轴飞行器的自动姿态调整过程，可以使四轴飞行器接近正对车头或是车尾，且车牌大小适合车牌识别。车牌识别的框架参考文献[15]和开源软件 EasyPR，分为车牌定位和字符识别 2 个过程。车牌定位主要是通过训练的 SVM 检测器对“疑似”车牌的分割区域进行分析，返回包含车牌的图像块。通过车牌检测可以减小搜索区域，加快运行速度。字符识别过程是对车牌定位过程中返回的图像块进行处理，进而识别出车牌号码，主要用到的是神经网络中的多层感知器模型。完整的处理流程如图 7 所示。

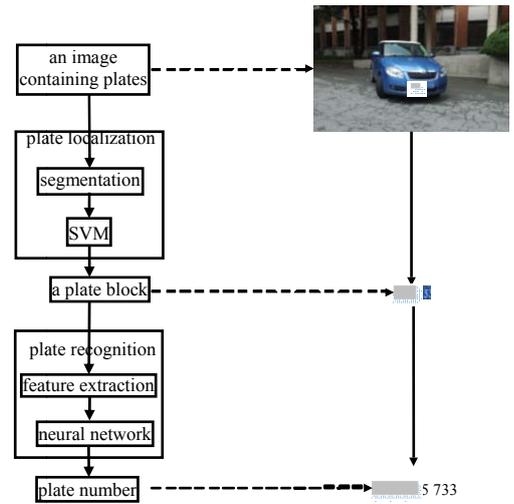


Fig.7 Flow chart of plate recognition
图 7 车牌识别流程图

3 实验及结果

3.1 系统及配置

为了验证上文提出的系统方案和算法，搭建了一套实物系统。该系统的配置如下：机载板为英特尔 i3 NUC 5010U，主频 2.1 GHz，内存 8 G，工作在 Ubuntu12.04 系统下；四轴飞行器平台为大疆公司的经纬 M100；摄像头采用 Logitech C920 高清摄像头，系统实物图如图 8 所示。



Fig.8 Picture of the system
图 8 系统实物图

该系统首先由地面站端设定巡航路径和四轴飞行器的巡航朝向，然后地面站将该信息经过 WIFI 发送给机载板。机载板调用 M100 的 Onboard SDK 通过串口控制四轴飞行器按照设定的路径进行巡航，同时执行车辆检测程序。当检测到车辆时，四轴飞行器执行自动姿态调整算法至适合车牌识别的位置。最后经过车牌识别算法识别出违章停放车辆的车牌，然后按照设定路径继续巡航。

3.2 实验结果

本系统中的参数设置如下：摄像头分辨率 640×480 像素，检测到车牌的理想位置状态为 $q' = \{320, 240, 100, 30\}$ ，机体坐标系下 x, y, z 方向的速度控制上限阈值 $V_{max} = [0.2, 0.2, 0.1]$ 。车辆检测和车牌识别的实验结果如图 9 所示。



Fig.9 Simulation results
图 9 实验结果图

准确性分析：为了测试训练的车辆检测算法的准确性，本文对一段在高度为 5 m 左右拍摄的道路监控进行测试。在 197 s 的时间内，共 84 辆汽车通过，算法检测出汽车 91 辆，准确率为 92.3%，虚警率为 7.7%。针对出现虚警的场景，实际应用中可以通过对连续多帧的检测结果统计来进行消除。车牌识别的测试结果如图 9 所示，从上述结果可以看出，四轴飞行器通过调整姿态到合适的位置，系统可以准确地识别出图像中的车牌。同时，车牌识别是在车辆检测和自动姿态调整的基础上进行，即识别范围限定在一辆车辆的检测区域内，可以有效地避免一帧图像中识别出多个车牌的问题。针对车牌识别过程中存在误差，可以对连续 5 帧的识别结果进行统计，将出

现次数最多的识别结果作为最终结果。同时在识别结束时,对车辆进行拍照取证,以方便之后的人工排查,进一步减少误差。

耗时分析:实验中车辆检测和车牌识别的耗时如表1所示。车辆检测过程最初是在整帧图像(640×480像素)中进行,平均耗时为750ms。在姿态

调整过程中,为了控制的稳定性和平滑性,将适合进行车牌识别的位置划定为理想状态附近的一片区域。通过调整四轴飞行器控制输入的上限值,可以保证在连续2帧之间四轴飞行器位移比较小,不会产生在理想位置附近振荡的情况。之后对车辆检测环节进一步优化,具体逻辑为:若前一帧没有检测到车辆,则在当前帧整帧图像中进行车辆检测;如果检测到车辆,则将2倍车辆大小的区域划定为感兴趣区域(Region of Interest, ROI),之后的车辆检测在此ROI区域内进行。通过改进,可以减小车辆检测过程中的搜索范围,缩短耗时。实验结果表明,通过该优化,车辆检测的平均耗时为318ms,较之前缩短了57.6%,实时性更高。

表1 车辆检测和车牌识别耗时
Table1 Time consuming of car detection and license recognition

process	average time/ms
car detection without ROI	750
car detection with ROI	318
license recognition	100

4 结论

针对日渐增多的违章停车现象,传统的人工巡检和基于道路固定摄像头的方法都表现出相应的不足。本文基于计算机视觉和灵活的四轴飞行器平台,搭建了一套违章停车取证系统。实验结果表明,该系统灵活,效率高,可以与传统的人工巡检和基于道路固定摄像头的方案互补作为交通智能化管理新的解决方案。同时该系统也存在不足,如车辆检测过程比较耗时,从车辆检测中获取的信息偏少等,接下来将进一步完善。

参考文献:

- [1] 汤一平,陈耀宇. 基于计算机视觉的违章停车智能监控系统[J]. 计算机测量与控制, 2009(8):1505-1508. (TANG Yiping, CHEN Yaoyu. Peccancy parking intelligent monitoring system based on computer vision[J]. Computer Measurement & Control, 2009(8):1505-1508.)
- [2] 王殿海,胡宏宇,李志慧,等. 违章停车检测与识别算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2010(1):42-46. (WANG Dianhai, HU Hongyu, LI Zhihui, et al. Detection and recognition algorithm of illegal parking[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2010(1):42-46.)
- [3] 姜明新,王洪玉,沐方顺. 基于视频监控的违章停车检测算法[J]. 计算机工程, 2012,19:151-153,158. (JIANG Mingxin, WANG Hongyu, MU Fangshun. Illegal parking detection algorithm based on video surveillance[J]. Computer Engineering, 2012,19:151-153,158.)
- [4] 刘峰,吕强,王国胜,等. 四轴飞行器姿态控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2011(3):583-585,616. (LIU Feng, LYU Qiang, WANG Guosheng, et al. Design of attitude control system for quadrotor[J]. Computer Measurement & Control, 2011(3):583-585,616.)
- [5] 方璇,钟伯成. 四旋翼飞行器的研究与应用[J]. 上海工程技术大学学报, 2015(2):113-118. (FANG Xuan, ZHONG Bochong. Research and application of four-rotor aircraft[J]. Journal of Shanghai University of Engineering Science, 2015(2):113-118.)
- [6] 谭建豪,王耀南,王媛媛,等. 旋翼飞行器机器人研究进展[J]. 控制理论与应用, 2015,10:1278-1286. (TAN Jianhao, WANG Yaonan, WANG Yuanyuan, et al. The research progress of the rotary owing flight robot[J]. Control Theory & Applications, 2015,10:1278-1286.)
- [7] NEUMANN P P, HERNANDEZ, BENNETTS V, et al. Gas source localization with a micro-drone using bio-inspired and particle filter-based algorithms[J]. Advanced Robotics, 2013,27(9):725-738.
- [8] REMES B D W, HENSEN D, VAN Tienen F, et al. Paparazzi: how to make a swarm of parrot AR drones fly autonomously based on GPS[C]// IMAV 2013: Proceedings of the International Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition. Toulouse, France: [s.n.], 2013:17-20.
- [9] KRAJNIK T, VONASEK V, FISER D, et al. AR-drone as a platform for robotic research and education[M]. Research and Education in Robotics-EUROBOT 2011. Springer Berlin Heidelberg: Communications in Computer and Information Science, 2011.
- [10] SCHWAGER M, JULIAN B J, ANGERMANN M, et al. Eyes in the sky: decentralized control for the deployment of robotic camera networks[J]. Proceedings of the IEEE, 2011,99(9):1541-1561.

(下转第792页)