

基于计算机视觉技术的车辆远程控制技术研究

李 虎¹, 杨威文²

(1. 广西壮族自治区人民医院, 南宁 530022; 2. 北京邮电大学 计算机学院, 北京 100876)

摘要: 随着信息技术的发展, 车辆远程控制成为了学术界的前瞻性研究; 此次研究在合理利用计算机视觉技术的基础上, 结合模糊 PID 控制智能算法建立了车辆远程控制系统, 以期实现对车辆装置的实时监控, 能够在危险状况发生时通过远程控制中心操控车辆; 实验中, 以履带车辆作为研究对象, 对其相关参数进行了设计, 以达到验证该控制系统有效性的目的; 研究表明, 无论是在直线行驶作业下还是曲线行驶作业下, 相较于基于模糊 PID 控制算法的车辆控制系统, PID 车辆控制系统均调节震荡大、调节时间长; 而基于 BP 神经网络算法的车辆控制系统也存在诸多问题; 因而基于模糊 PID 控制算法的车辆控制系统调控精度较高, 适用性较强; 此次研究对车辆远程控制研究具有一定的指导价值。

关键词: 计算机视觉; 远程; 控制; 车辆

Research on Vehicle Remote Control Technology Based on Computer Vision Technology

Li Hu¹, Yang Weiwen²

(1. People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China;

(2. School of Computing, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: With the development of information technology, vehicle remote control has become a prospective research in academic circles. Based on the reasonable use of computer vision technology and the intelligent algorithm of fuzzy PID control, the vehicle remote control system is established in this study, in order to realize the real-time monitoring of the vehicle device and to control the vehicle through the remote control center when the dangerous situation occurs. In the experiment, the relevant parameters of tracked vehicle are designed to verify the effectiveness of the control system. Compared with the fuzzy PID control algorithm, the results show that both straight-line and curve-driven operations vehicle control system, PID vehicle control system all adjust the oscillation large, the adjustment time is long; and the vehicle control system based on BP neural network algorithm also has many problems; therefore, the vehicle control system based on fuzzy PID control algorithm has high precision and strong applicability. This research has certain guiding value to the vehicle remote control research.

Keywords: computer vision; remote; control; vehicle

0 引言

由于履带行走系统的触地压力较小、上坡能力强以及牵引力较大, 因而备受不平坦地面作业车辆的青睐, 装载机、挖掘机等常以履带行走系统作为基本装置^[1]。履带车辆工作环境常比较恶劣, 经常伴有噪音以及灰尘等, 可能对操作人员的生命健康安全构成威胁, 因此对履带车辆的车辆状态进行实时监控, 实现履带车辆的远程控制成为亟不可待的需求^[2-3]。然而, 在对履带车辆进行监控的过程中会涉及到大量车辆状态以及路况信息, 因而要求车辆远程控制系统具有较高的数据处理能力。近年来, 全球互联网信息技术飞速发展, 各种智能算法交织出现, 这使数据收集和传输的速度到了一个空前的高度, 这为履带车辆状态信息的实时采集、提升施工效率、降低事故发生率带来机遇。本次研究在充分利用计算机视觉技术的基础上, 选取

模糊 PID 控制算法建立基于履带车辆的远程控制系统, 文中对系统功能、软硬件设计等进行了详细介绍。本次研究的创新之处就在于将计算机视觉技术与模糊 PID 控制算法进行结合, 有效提高了车辆远程控制系统的效率。

1 车辆远程控制系统构成与计算机视觉技术

随着计算机网络技术的进步和发展, 结合各种先进技术和智能算法对车辆远程控制系统进行研究已成为自动化控制领域的一个重点研究方向。车辆远程控制系统的开发利用不仅可以保障车辆的安全运行, 对车辆的潜在故障进行预测, 还能有效避免人体和危险环境进行直接接触, 减少交通事故的发生。因此, 对车辆远程控制系统进行深入研究具有一定的美好前景。履带车辆的远程控制系统主要由两部分组成, 分别是远程监控系统与远程调整系统^[4]。远程监控系统的存在主要是为了实现对履带车辆运行状态的实时监控, 首先通过物联网技术对车辆状态信息进行实时采集, 采集的车辆信息主要包括燃油油位、轮胎压力以及车辆行驶速度等。然后利用互联网技术将采集所得的车辆信息传送至监控中心, 监控中心则通过电脑或者手机终

收稿日期: 2020-05-14; 修回日期: 2020-06-05。

作者简介: 李 虎(1983-), 男, 山东费县人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事计算机科学与技术方向的研究。

端对车辆状态信息进行查看,实现对车辆的实时监测^[5-6]。远程调整系统则主要负责对车速以及方向等进行调控,当下常用的远程调整主要是通过局域网和互联网实现的,这种基于信息技术的远程调控可以有效提高对履带车辆的控制效率^[7-8]。

无人驾驶技术一直是车辆远程控制系统研发中的一个研究重点,其研究内容主要在于对周围复杂环境的识别、对重要信息的提取,以及对自动控制算法的编辑等,计算机视觉技术的研究开发也是其研究内容的一个重要部分。计算机视觉技术是一种利用计算机模拟人类视觉过程、感知环境的先进技术,其本质主要在于对环境信息进行收集,以及对获取图像进行处理,比如计算机视觉技术利用摄像机对实际路况信息进行采集,通过对道路图像进行分析,筛选出有用的导航信息,从而实现对车辆运行的控制^[9-10]。计算机视觉技术以其经济性、自主性、实时性以及适用性受到了广大信息技术利用者的青睐,被广泛应用于各大领域^[11-12]。例如利用计算机视觉技术对工人的作业安全进行监测,监测系统利用模板匹配算法将摄像机采集的工人作业图片与现有规章制度进行匹配计算,当出现不规范作业行为时,及时对工人进行提醒,有效避免安全事故的发生。

2 履带行走系统跟随基本理论

2.1 履带行走系统跟随原理

履带行走系统主要是基于履带行走装置获取导航的预设路线,控制导航的转向和走向在预设范围之内。履带行走跟随装置在履带行走系统中的运行首先是通过计算机视觉技术获取车辆的航向信息。然后通过对图像分析处理得到履带行走系统的航线拟合曲线。最后通过计算其形心角度与拟合曲线之间偏差的方式,来得到履带行走系统的航向角偏差,同样的方法也可得到其与拟合曲线间的距离偏差,其路径跟随原理如图 1 所示。

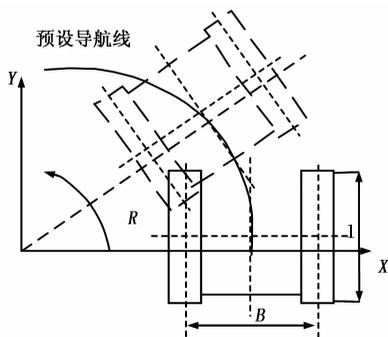


图 1 履带行走系统路径跟随原理

履带一般都呈轴对称分布,因此可以在直接控制一组履带的基础上实现转向。履带行走系统在进行转向操作时,履带会受到地面摩擦力的作用。当履带车辆在直线行驶过程中突然转弯或者当履带车辆处于启动状态时,可以认为其运行系统处在动态过程中,可以得到其相应的转向动力分析方程,参见公式(1):

$$\begin{cases} F_{g2} + F_{g1} - F_{R1} - F_{R2} = mv_c \\ (F_{g2} - F_{g1})B/2 - M - (F_{R1} - F_{R2})B/2 = J_0\omega_c \end{cases} \quad (1)$$

其中: $F_{R1} = F_{R2} = mgf_g/2$ 为滚动摩擦阻力,系统质量用 m 表示,其转动惯量则用 J_0 表示,转动阻力矩用 M 代表,在不考虑履带车辆滑移与滑转的情况下,可以利用公式(2)实现对履带行走系统转动阻力矩的求解。

$$\begin{cases} M = \mu mg l / 4 \\ \mu = \frac{\mu_{\max}}{\left(1 + \frac{2R}{B}\right)^{n_k}} \left(1 - \frac{R}{R_k}\right) \end{cases} \quad (2)$$

式中, n_k 表示履带张力指数;最大转向阻力系数用 μ_{\max} 表示,并设置其取值范围为 0.2~0.5,此外履带车辆的自有转弯半径用 R_k 表示。

2.2 图像处理原理

计算机视觉技术需要通过摄像机处理获取环境数据,由于要对航线进行精准识别并预判其偏差大小,因而需要对获取图像进行预处理,常见的处理方法有图像二值化、边缘检测等。在视觉跟随的控制过程中,通过摄像机采集道路信息,同时利用 Labview 软件对获取的道路图像进行处理,由于外界干扰因子的存在,例如采集图像中可能含有噪声,需用滤波对其进行处理。若要实现图像的二值化,则需要对图像做进一步处理,将其转变为二进制形式的灰度图片,并对其像素值进行设定,位于 0~255 之间,同时以差异化的跟踪轨迹线以及像素信息,对二值化阈值进行差异化设置。因为图像二值化过程中存在路面干扰因素,因而需要根据航线轨迹像素的宽度差异化,对二值化后的像素矩阵进行遍历,识别出导航线与干扰因子,经过仔细筛选后即可得到清晰的路标信息。图像边缘检测主要是根据对图像灰度值间歇性的判断,在灰度化图像出现灰度值骤变处对其进行检测,导致图像灰度值跳变的原因主要有四方面,分别是材料性质、物体颜色的差异性、曲面位置以及光照的差异性、物体与背景的较大差异以及物体与自身影子的鲜明对比。只要存在差异性的地方,均可能导致图像的灰度值跳变。

2.3 模糊 PID 控制

在人工智能控制范围内,最为常见的控制方法主要是人工神经网络控制以及 PID 控制等,各智能算法间通过协作可实现更效率的运行控制,比如模糊神经网络控制、变论域控制以及模糊 PID 控制等^[13-14]。鉴于履带行走车辆的本质属性,此次研究利用模糊 PID 控制方法实现对履带车辆行驶过程中各铰接点偏转角度、履带行驶速度等技术指标进行实时控制,从而实现履带车辆的路径跟踪以及远程控制。模糊 PID 控制是 PID 控制与模糊控制的结合体,其基本结构包括基本二维模糊控制器和普通 PID 控制器,控制原理可以参见图 2。

模糊控制器的处理过程包含模糊推理、控制参数模糊化以及去模糊化三个过程^[15]。模糊推理根据模糊控制规则对控制过程进行推理判断;控制参数模糊化则利用相关方

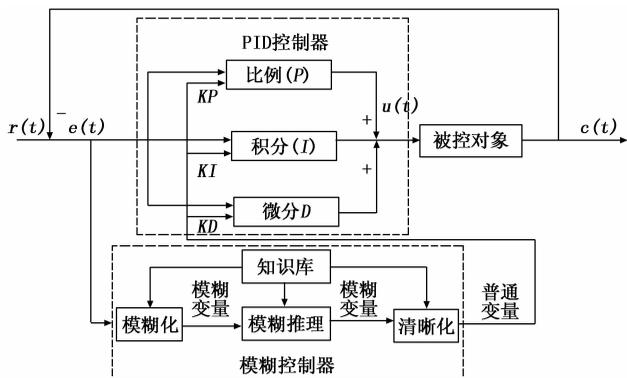


图 2 模糊 PID 控制机理图

法实现具体值的模糊化；去模糊化利用模糊参数对模糊度进行计算，以获取程序的精确输出值，达到精确控制执行机构的效果。模糊 PID 控制的应用范围较广，其控制器主要由微积分控制器以及比例控制器组成。微分控制器通过对输入误差进行微分处理，实现系统的稳定，同时达到降低系统超调量以及动态改善控制系统的效果。积分控制器则通过增益 K_P 对控制器的输入误差进行积分处理，以完成对放映系统误差的调节任务。积分控制器则对输入误差进行处理，通过不断消除系统误差的方式逐步提高系统的调节精度。PID 控制器的数学模型参照下式。

$$\begin{cases} u(t) = KP \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \\ e(t) = r(t) - c(t) \end{cases} \quad (3)$$

式中, $e(t)$ 为 PID 控制器的输入型误差, $r(t)$ 作为设定值, $c(t)$ 为系统的实际输出误差, 系统的比例增益用 KP 表示, T_i 与 T_d 分别表示微积分时间常数。

3 履带车辆远程控制系统设计

3.1 硬件设计

履带车辆远程控制系统主要由检测、主动控制以及视觉自动跟随三部分组成。基于互联网技术的远程监控部分主要功能是实现对履带车辆运行状态参数的时刻监测, 利用物联网技术完成对车辆状态信息的采集, 接着施加车载电脑的作用, 完成车辆状态参数实时传输, 传输终点是系统的监控中心, 系统监控中心通过智能终端即可实现车辆状态参数的及时查看, 进而对车辆的路况、速度、自身倾角等运行状态进行实时监控, 当遇到障碍物时通过远程终端对车辆进行调控, 避免安全事故发生。而自动视觉跟随则通过对履带车辆的航行线路进行调控, 实现履带车辆的安全行进。系统主要的硬件设施包括传感器、GPS 定位仪、cRIO9030 下位机、监控中心、摄像头、履带车辆以及输入输出板卡等, 详细的系统结构设计参加下图。

3.2 软件设计

履带车辆远程控制系统对车辆数据进行处理运算的主要工具为 Labview 软件, Labview 软件可利用可视化 G 语言实现视觉跟随的代码编写。履带车辆远程控制系统软件设计主要是对主动控制过程、视觉跟随过程的图像处理、

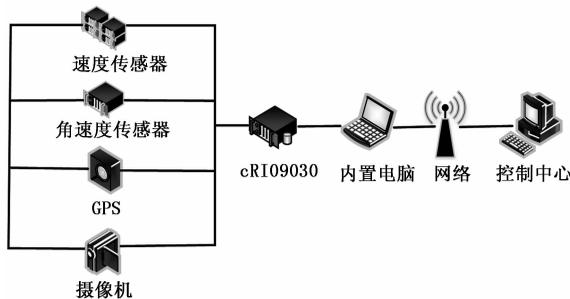


图 3 履带车辆远程控制系统结构图

车辆状态信息采集等程序进行算法设计。Labview 软件可以在机载电脑以及下位机 cRIO9030 环境下存储, 从而实现车辆状态监测与车辆控制的双驾马车。利用机载电脑上的总程序对主动控制程序、视觉跟随程序以及车辆状态监测程序进行调控。总程序前面板则通过 Labview 实现控制前面板的网页内嵌, 进而远程控制中心通过对 Labview 的 web 服务器的访问即可实现对前面板的控制。履带车辆状态监测程序利用 Labview 的下位机对卡通道数据进行读取, Labview 通过 GPS 获取车辆位置信息, 同时对各传感器数据进行处理, 并将处理后的结果反馈给机载电脑, 监控中心通过机载电脑即可获取车辆状态信息。根据履带车辆远程控制系统的采控数据, Labview 设计包括路面图像显示表、车辆航向以及串口选择下拉框等。下位机主程序编程面板结构利用状态机模型实现上述编程过程, 状态机模型包含 3 个过程, 分别是顺序结构、While 循环以及事件结构。其中顺序结构主要对串口、前面板创建等进行设置, 串口配置过程决定 VISA 资源名称、数据比特、终止符状态等参数; 前面板创建过程涉及到远程控制指示灯状态的设定, 使得程序 LED 指示灯严格受远程控制指令控制。While 循环涉及到嵌套事件结构, 事件结构分支则主要包含路面信息采集与远程控制。在视觉跟随控制程序中, 利用 Labview 程序完成对车辆路况信息的调用, 取得路况图像需要用滤波进行处理, 以消除噪声等外界干扰, 然后对图片进行灰度、二值化处理, 进而得到二值化图片矩阵, 最后通过最小二乘法对履带车辆进行标志线拟合, 使得履带车辆按照预定航线行驶, 履带车辆的远程控制系统整体框架如图 4 所示。

3.3 系统实现

履带车辆远程控制是通过监控中心实现的, Labview 软件自带 Web 服务器, 其服务器传输方式分为显示器式、快照式以及内嵌式 3 种。显示器式要求以动态图像的形式显示前面板的图像, 且以秒为频次进行刷新; 快照式则是在互联网控制端只对连接静态图像进行显示; 内嵌式则是指将前面板内嵌至 Web 服务器, 利用控制终端对服务器进行访问以打开前面板, 进而起到控制前面板的作用。此处对履带车辆总程序的设计采用内嵌式。只要控制中心输入对应服务器的前面板, 就可以快速转至履带车辆控制程序的前面板, 实现对履带车辆的远程控制, 其网络远程车辆控

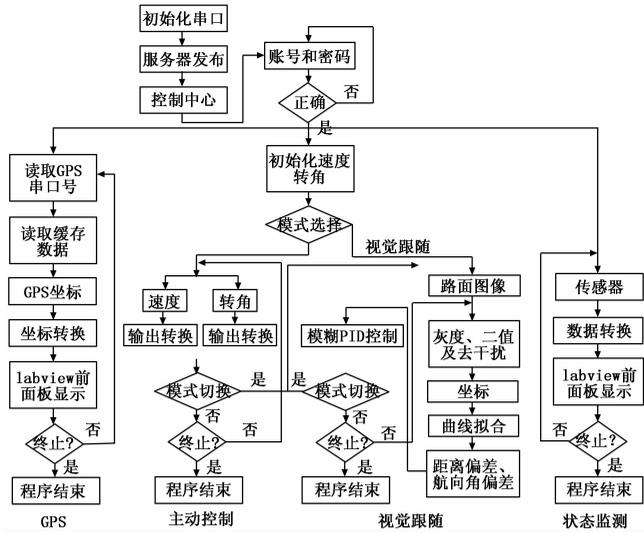


图 4 履带车辆的远程控制系统框架

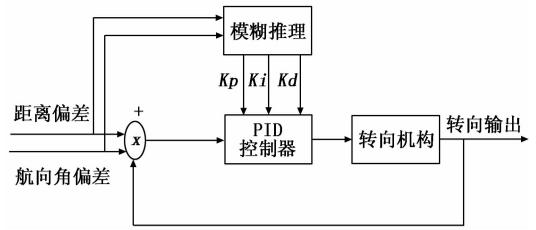


图 6 模糊 PID 控制原理图

误差，初始速度以及最大速度等相关参数，同时对 PID 控制器的微积分参数以及比例参数等进行调整，通过反复的仿真测试，以实现较好的远程控制效果。BP 神经网络算法利用三层式结构对实际驾驶进行训练，训练好之后，建立相应的神经网络控制模块，并对步长、时长等参数进行设置，相应设置完成后进行仿真测试。得到的神经网络控制系统、PID 控制系统以及模糊 PID 控制系统的履带车辆模拟效果如图 7 所示。

制流程如图 5 所示。

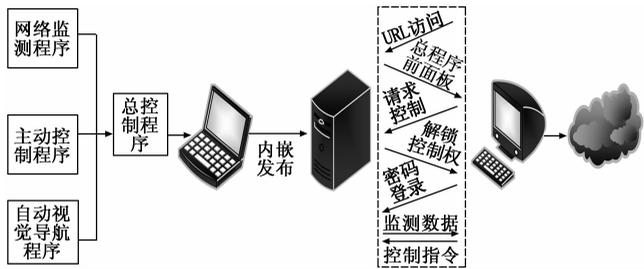


图 5 互联网远程控制流程示意图

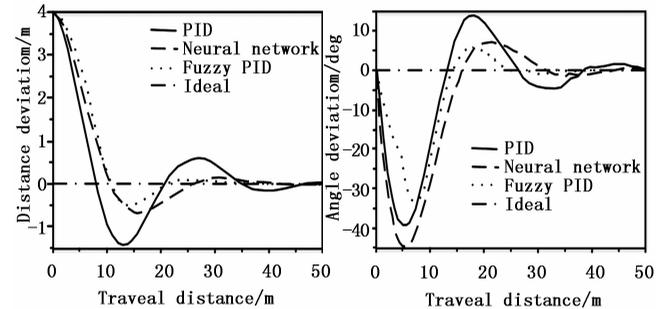


图 7 履带车辆的距离偏差和航向偏差

4 实验结果与分析

4.1 虚拟机创建及系统建设

为了对履带车辆远程控制系统的有效性进行验证，此次研究基于虚拟样机技术对履带车辆远程控制系统进行仿真分析。在 SolidWorks 上建立履带车辆的三行走模型，并详细设计该模型的相关参数，车辆的行走装置主要包括导向轮、履带架、支重轮、拖链轮以及驱动轮等，将三维模型保存为 x_t 格式，并将其导入至相应的低速履带模型中。在低速履带模型中，可以对履带链条以及底盘接触参数等进行自定义设计。按照设定好的装置参数对驱动轮、导向轮、支重轮以及履带板等进行创建。

履带车辆在实际行驶过程主要产生两个误差，分别为航向误差以及距离误差，将该两项误差以自变量的方式输入控制系统中，利用模糊控制器对其进行模糊推理，推理完成后输出三项控制参数，分别是微积分控制参数 K_D/K_I 以及比例系数 K_P 。PID 控制器通过调整这三项系数完成对系统误差的调节，其中积分控制调节稳态误差，比例系数调节系统精度，微分控制调节超调或震荡。模糊 PID 控制系统的原理参见图 6 所示。

4.2 直线行驶作业分析

直线行驶情况下，设置好履带车辆的初始位置、航向

由图 7 可知，在对履带车辆进行远程控制的过程中，PID 履带车辆远程控制系统存在调节震荡大、调节周期过长以及控制回复率慢等问题，与其他两种算法相比，对偏差范围进行调整的需要时间过长；然而 BP 神经网络履带车辆远程控制系统仅在启动阶段响应时间较长，其余时间相对较短，因而综合看来控制效果更好。基于模糊 PID 控制算法的履带车辆远程控制系统回复率较高、波动幅度较小且车辆的转向稳定，因而同前两种智能算法相比，其对车辆的远程控制性能最好。

4.3 曲线行驶作业分析

曲线行驶情况下，对履带的初始位置、航向角误差，初始速度以及最大速度等进行设置，设置完成后进行 3 种算法的仿真测试。得到的履带车辆运行参数变化情况如下图所示，此处选取具有代表性的 PID 控制算法、模糊 PID 控制算法、BP 神经网络算法进行对比分析，各自的运行参数变化情况如图 8 所示。

由图 8 可知，3 种智能算法都能使履带车辆按照预设航线行驶，但由前 4 米的行驶轨迹可看出，PID 控制算法与神经网络算法的回复效率均较低，模糊 PID 控制算法收敛速度较快，能够促使履带车辆快速按照航线行驶，由此可知，模糊 PID 控制算法对履带车辆的控制精度较高。

(下转第 192 页)