

基于 Web 的工业机器人 3D 虚拟动态监控系统^①

徐建明^② 吕汉泰 张贵军 禹鑫燧 俞 立

(浙江工业大学信息工程学院 杭州 310023)

摘 要 针对由 CoDeSys SoftMotion 控制的六自由度工业机器人,设计了一种基于 OPC 标准协议和 Web 技术的工业机器人 3D(三维)虚拟动态监控系统。基于 .NET 平台的 Windows 窗体应用程序框架和 MySQL 数据库,采用 C#语言设计了工业机器人监控客户端程序;通过 CoDeSys OPC 服务器配置工业机器人各关节角和运动状态为数据项,采用 WebGL 技术和 three.js 框架建立了六自由度工业机器人 Web3D 模型,基于机器人运动学设计了工业机器人 3D 动态网页。实现了工业机器人关节角和状态数据传输和存储,以及基于 Web 的工业机器人 3D 虚拟动态监控功能。

关键词 OPC 标准协议, Web 技术, 工业机器人, 3D 虚拟动态

0 引 言

计算机网络技术和 3D 可视化技术的不断突破创新,使得在工业控制领域中融合虚拟现实相关技术构建逼真形象的监控系统成为一种发展趋势。在工业领域中,机器人将会代替人完成一些高难度的、危险的任务及工作环境恶劣的任务,此时工业机器人实时运动信息采集以及虚拟动态再现就显得非常重要。早在 1993 年,美国 NASA 就将虚拟现实技术用于南极科考遥操控车的远程监控,开启了虚拟现实技术在机器人监控领域的应用^[1]。2016 年 LG 展示了一款名叫 Bot 的混合型球形监控机器人^[2]。在国内也有很多科研机构进行了研究,如河南工业大学的面向危险品监测的多感官机器人系统的监控系统^[3]。

本文以江苏汇博六自由度工业机器人作为研究对象,对其进行了运动学建模,开发了工业机器人 B/S(浏览器/服务器)模式的 3D 虚拟动态监控系统。

为了实现基于 Web 的监控系统,本文使用了 Web 图形库(WebGL)技术^[4]和用于过程控制的对象连接与嵌入(OPC)技术^[5],前者可以直接使用显卡的计算资源,创建高性能的 2D 和 3D 计算机图形,具有统一标准,跨平台等优点,同时 HTML5 已经支持 WebGL,在其元素上直接通过脚本语言进行交互式制作,避免需要浏览器插件支持^[6,7],后者是微软以 COM/DCOM 技术开发的应用于工业自动化控制的协议,作为一种通讯协议,介于现场控制器与上层监控系统之间,隐藏现场控制系统的差异,为上层系统的数据应用提供一套统一的接口^[8]。监控系统使用统一客户端,将核心业务功能部署在服务器上,从而简化了系统的开发、维护和使用^[9]。监控界面以网页虚拟现实的形式呈现给用户,生动形象的界面丰富了反馈信息,提高了监控效果^[10]。数据采集部分遵循 OPC 标准协议,依据 OPC 标准协议编写的客户端具有即插即用的优点,软件开发者无需考虑硬件开发商的具体设备驱动就能进行上位机软件开发,显著提高了开发效率并降低了开发成本。

① 国家自然科学基金(61374103),863 计划(2014AA041601-05)和浙江省自然科学基金(LZ15F030003)资助项目。

② 男,1970 年生,博士,教授;研究方向:迭代学习控制,电机伺服控制技术,机器人控制技术等;联系人,E-mail: xujm@zjut.edu.cn (收稿日期:2016-11-22)

1 系统整体架构

系统架构如图 1 所示,本监控系统以江苏汇博六自由度工业机器人本体与 CoDeSysSoftMotion^[11]组成的机器人控制系统为基础,整体架构主要分为三部分。第一部分为工业机器人控制系统,已由实验室基于软 PLC CoDeSys 实现,CoDeSys 通过工业以太网(EtherCAT)采集机器人相关物理数据;第二部分是由 OPC 客户端和数据库组成的数据采集部分;第三部分是由 Web 端和数据库组成的机器人远程监控系统。其中数据库作为监控系统前后端的信息载体,记录工业机器人使用过程中产生的各种信息,其E-R图如图 2 所示。监控终端通过浏览器访

问 Web 服务器进行相关信息以及机器人的动态显示。

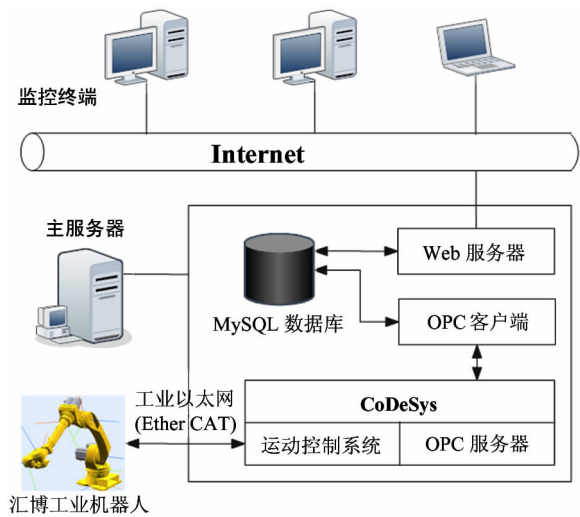


图 1 工业机器人 3D 监控系统架构图

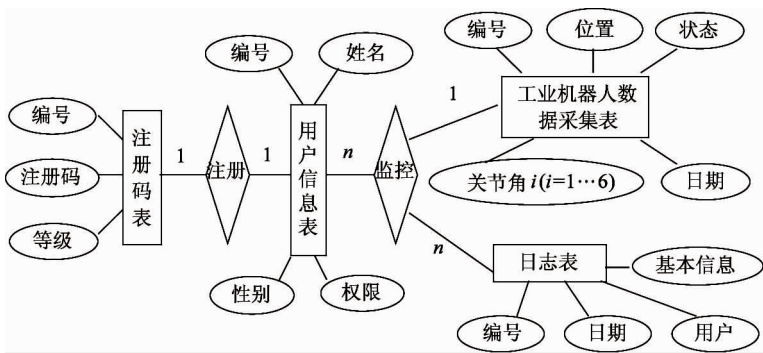


图 2 监控系统数据库 E-R 图

2 OPC 客户端的实现

2.1 OPC 数据存取规范

OPC 数据存取(Data Access)规范提供给用户访问实时过程数据的方法^[12]。OPC 数据存取规范如图 3 所示,其中 OPC 服务器分为三类对象:OPC-Server(服务器)、OPCGroup(组)、OPCItem(项)。OPCServer 是 OPCGroup 的集合,并维护有关服务器的信息;OPCGroup 在维护自身信息同时包含 OPCItem 对象;OPCItem 则对应底层设备的各个信息点,一个项表示一个数据点。访问接口分为两种类型:自定义接口和自动化接口,不同的编程语言开发环境所需支持的访问接口也不同,C++,PASCAL

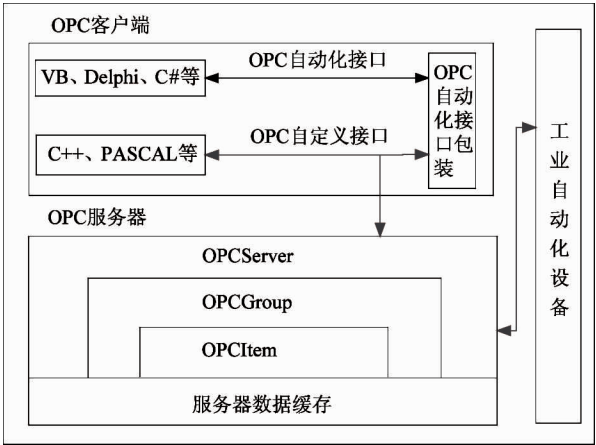


图 3 OPC 体系机构图

等编程语言实现自定义接口,它是 OPC 服务器必须实现的接口,并可达到最佳运行性能。C#, VB,

Delphi 等编程语言实现自动化接口,是自定义接口的封装,提供自动配置以及过程控制数据存取的接口。

2.2 OPC 客户端程序开发

OPC 客户端程序开发遵循 OPC 数据存取规范,以 .NET 平台的 Windows 窗体应用程序框架为基础,通过添加引用和 OPC 服务器配置,引入 OPC 自动化接口动态链接库,使用 C#开发客户端程序。在创建的 Windows 窗体应用程序项目中找到“添加引用”,在对话框中找到所需的 DLL 文件,本程序中加入 Interop.OPCAutomation.dll 文件,调用 OPCAutomation 库提供相应的 OPC 接口。服务器配置如图 4 所示,使用 CoDeSys 控制系统中的 Symbol Configuration 功能和 Build 功能将需要的数据放置入 OPC 服务器缓存中,其中 $setai(i = 1, \dots, 6)$ 表示工业机器人

人的 6 个关节角,running_state 表示工业机器人的运行状态。程序将通过服务器对象访问 OPC Item 对象读取每个端点的数据。

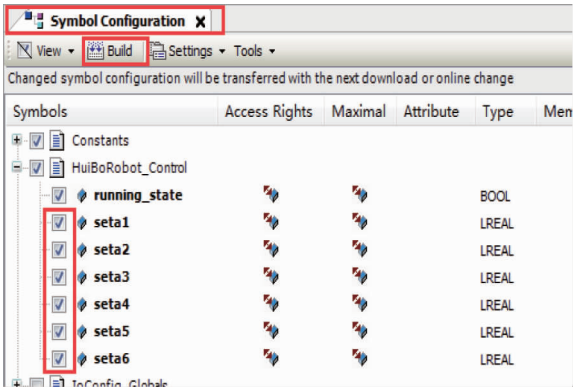


图 4 CoDeSys OPC 服务器配置窗口图

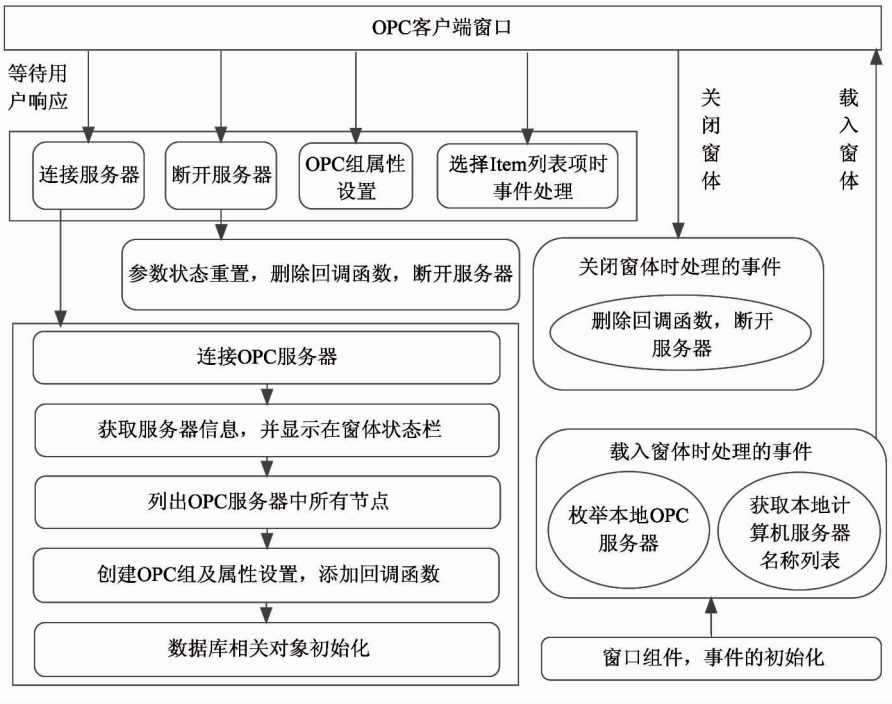


图 5 OPC 客户端程序结构流程图

程序结构流程图如图 5 所示,程序的组件和事件对象初始化后载入客户端窗体界面,其中响应事件包括工业机器人 OPC 服务器的连接和断开事件,组属性设置事件,OPC 项点击事件以及关闭窗口体事件。连接服务器时,程序初始化服务器和组对象,列举出所有服务器中缓存的工业机器人数据项节点,

添加项节点回调函数(每当工业机器人相关项数据变化时执行的事件)以及初始化数据库相关类对象。设置组属性时,程序动态修改初始化组对象的缺省值。断开服务器或者关闭窗口体时,程序删除回调函数,断开服务器连接,清除相关资源。

工业机器人 OPC 客户端窗体如图 6 所示,界面

可分为 4 部分,分别是工业机器人 OPC 服务器的连接,工业机器人 OPC 组的属性设置,工业机器人的数据显示,工业机器人的 OPC 项列表以及数据库的状态信息。OPC 服务器连接部分,程序检索工业机器人控制系统在系统注册表注册的唯一服务器 ID 并列举到窗口中。OPC 组的属性设置部分包括激活状态、死区大小、刷新速率等功能,在这里可以设置读取工业机器人数据时的刷新速率,对于工业机器人模拟量数据波动的敏感度等。OPC 项列表部分列举出在工业机器人控制系统服务器中缓存的所有项,如 PLC_GW3. Application. HuiBoRobot_Control.setai($i = 1, \cdots, 6$)表示在服务器中的 6 个关节角数据的句柄,当点击相应的列表项时,在工业机器人数据部分将动态展示数据的具体值,其中将工业机器人的核心数据、工业机器人的各个关节角的值单独显示。数据库的状态信息部分将动态显示数据写入数据库的情况。

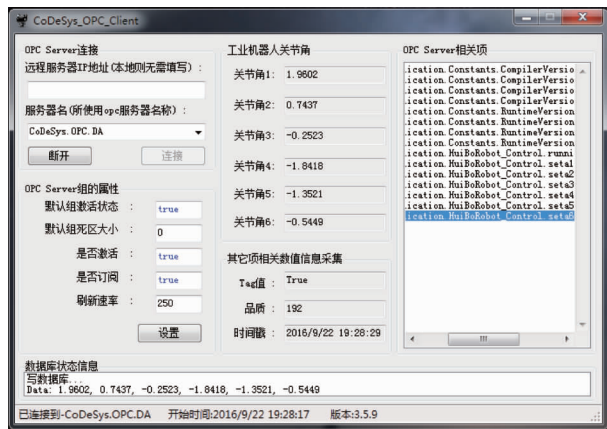


图 6 OPC Client 界面图

3 Web3D 监控客户端的设计

3.1 工业机器人 3D 物理建模

在实现工业机器人网页虚拟现实之前需要对其进行 3D 建模,这里使用了 Blender 3D 动画制作软件^[4,13],该软件是一款开源的跨平台 3D 动画制作软件。由于工业机器人 3D 模型不需纹理、音频等一些复杂高级的属性,所以只需根据机器人各部件的规格尺寸,在编辑模式(Edit Model)中设置几何体,将面数降到最少,使用环切、滑动、挤出、切割、细

分等常用的建模功能对基本几何体如长方体进行加工,同时在物体属性页中选择自动平滑功能,打开后标记锐边的边角就会自动分离,而且模型导出时也没有重复的顶点。图 7 所示是机器人的大臂三维模型图。机器人各部件建模后,在软件的菜单栏中选择“文件”找到“导出”选项,选择导出 3D 模型的文件格式,由于 stl 文件有体积小、解析简单等优点,在工业领域得到广泛的应用,因此本系统的 3D 模型选择 stl 格式,作为 Web 开发时的导入文件。

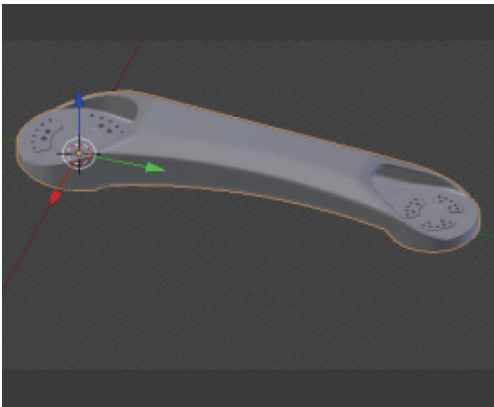


图 7 大臂三维模型图

3.2 工业机器人 Web3D 监控程序开发

监控页面的程序开发主要运用 Java、WebGL、HTML5 等当前主流的 Web 开发技术,在实际 Web3D 的开发中使用了第三方 WebGL 类库 thress.js,该库依据 WebGL 规范,对底层 WebGL 代码进行封装^[14],是此次 3D 开发的核心类库,其次是导入类库 STLLoader.js,该类库用于支持 stl 格式文件的导入。工业机器人各 3D 模型部件在虚拟现实场景中使用齐次变换矩阵定位,根据本文所设计的工业机器人连杆坐标系(如图 8)及 D-H 参数表(如表 1)^[15],计算所需齐次变换矩阵。Web 监控系统程序结构流程图如图 9 所示。其中控制层用于前台和后台的调度,拦截前台用户的请求信息,调用后台数据操作层相应的数据库访问操作类,操作类通过 JDBC 接口操作数据库并返回所需数据,控制层将数据输送给前台。当用户通过浏览器访问监控登录界面,登录界面初始化,浏览器显示登录界面,用户输入验证信息,转入控制层,得到正确验证后界面跳转至主

监控界面。

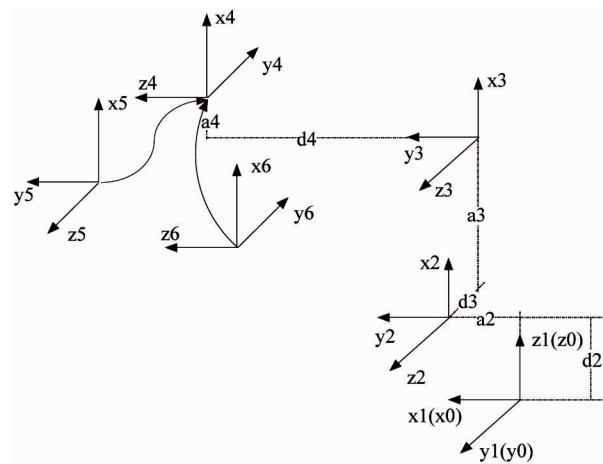


图 8 汇博工业机器人连杆坐标系图

表 1 汇博工业机器人连杆参数

连杆参数	α_i (°)	a_i (mm)	d_i (mm)	θ_i (°)
1	0	0	0	θ_1
2	-90	220.06	576.31	θ_2
3	0	899.93	-17.948	θ_3
4	-90	164.79	1013.91	θ_4
5	90	0	0	θ_5
6	-90	0	0	θ_6

的物体;实例化相机对象,该对象定义了我们能够在渲染好的容器中看到的物体,这里使用的相机类型是透视相机,因为该类型所展示的效果更接近人眼视觉效果;实例化渲染器对象,负责计算指定相机角度下,浏览器中 3D 场景。在完成一个 Web3D 场景的基本框架开发后,添加三维物体、光源,实例化模型加载对象,导入机器人各部件 stl 格式的 3D 模型,加载完文件后设置模型对象的齐次变换矩阵,对模型对象的材质、网格、大小等对象进行定义。最后进行页面渲染就可以在网页上显示机器人 3D 模型,想要进行连贯的动态显示,还需对各关节进行约束,保证关节与关节之间保持相对运动,如机器人大臂对象约束在机器人转座对象上,这样大臂在做自身动作时还能随转座运动。

监控主界面包含开始、停止、急停操作,以及机器人运行状态、数据显示和工业机器人 3D 场景。开始事件确定机器人监控开始,读取显示工作状态和关节数据,虚拟机器人做轨迹运动。停止事件断开所有连接,关闭所有资源。急停事件预防突发事件。

4 实验结果

OPC 客户端程序、MySQL 数据库、Web 端程序构建成了工业机器人 Web 监控系统,客户端作为托盘程序平时可以放在托盘系统中运行,也可查看具体运行情况。如图 6 所示,Web 端采集数据库中存储的数据,运行在 Web 服务器中,在浏览器端访问显示,当输入网页在服务器中的地址,就可以在浏览器中查看机器人的动态信息,如图 10 所示。图 10(a)是 Web 监控系统的初始界面,界面显示警报处于绿色背景,机器人状态良好并未端位置为(x :140.89, y :164.10, z :1.66),各关节角为零,当点开始按钮后如图 10(b)所示,虚拟机器人根据数据库中数据运行到指定位置(x : -22.13, y : 58.64, z : -98.66),该过程中关节角数据如表 2 所示。

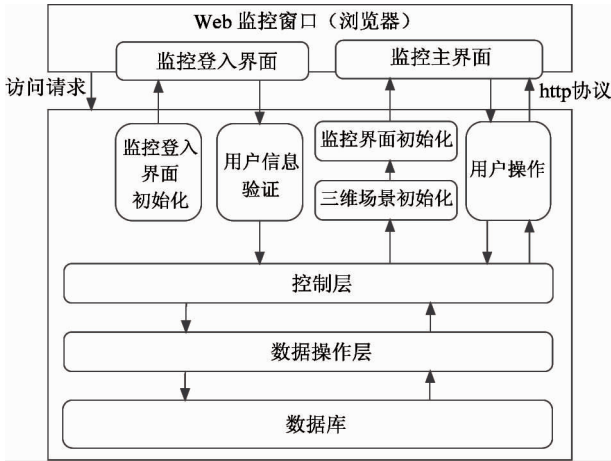
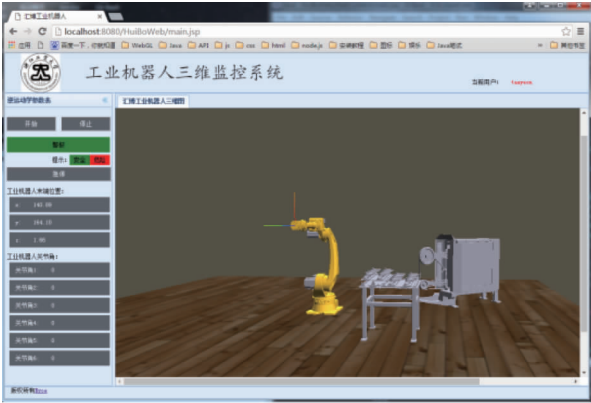
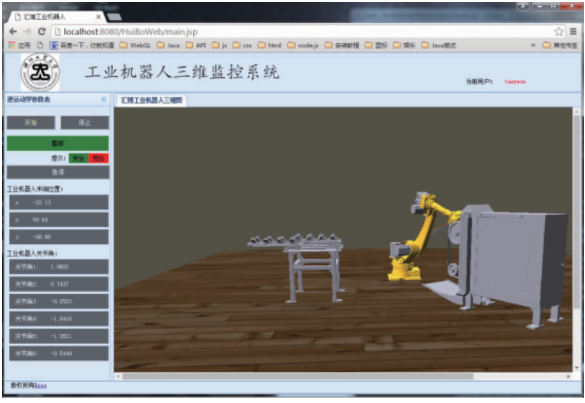


图 9 Web 监控系统程序结构流程图

初始化主控界面时初始化三维场景,包括齐次变换矩阵的初始化,实例化三维场景对象。三维场景对象是一个容器,用来保存和跟踪所有想要渲染



(a) 监控系统初始界面



(b) 监控系统动态图

图 10 Web 监控系统界面图

表 2 机器人关节角数据

序号	关节角 1	关节角 2	关节角 3	关节角 4	关节角 5	关节角 6
1	0	0	0	0	0	0
2	0.0003	0.0001	-0.0000	-0.0003	-0.0002	-0.0001
3	0.0022	0.0009	-0.0003	-0.0021	-0.0016	-0.0006
4	0.0072	0.0028	-0.0009	-0.0069	-0.0051	-0.0020
5	0.0164	0.0064	-0.0022	-0.0158	-0.0116	-0.0047
6	0.0308	0.0119	-0.0040	-0.0296	-0.0217	-0.0087
7	0.0511	0.0198	-0.0067	-0.0490	-0.0360	-0.0145
.....						
37	1.9042	0.7373	-0.2501	-1.8260	-1.3405	-0.5402
38	1.9134	0.7409	-0.2514	-1.8349	-1.3470	-0.5429
39	1.9184	0.7428	-0.2520	-1.8397	-1.3505	-0.5443
40	1.9203	0.7436	-0.2523	-1.8415	-1.3519	-0.5448
41	1.9206	0.7437	-0.2523	-1.8418	-1.3521	-0.5449

5 结 论

本文研究了一种基于 Web 的工业机器人 3D 虚拟动态监控系统,提出了一种基于 OPC 标准协议、数据库技术、Web 技术以及 3D 技术相结合的工业机器人监控系统的开发方法。采用 OPC 标准协议使得在工业机器人运动数据采集过程中通过标准接口不需考虑底层系统的差异性,提高了开发效率,降低了开发成本。与传统的人机交互的生硬性对比,3D 界面逼真的体现力,也使使用者有更直观的体验,而网页发布形式,使得人机交互的地域性得到释放,使用者可以对工业机器人进行远程监控,甚至可

以通过智能移动端进行访问浏览。同时本监控系统数据端和监控端分开开发导致系统过于解耦,监控系统的性能还有提升空间,接下来将整合数据端和监控端统一开发,使得监控系统效率更高,性能更健壮。

参考文献

[1] 邹诗苑,费敏锐,李喆. 基于 web 虚拟现实的机器人远程监控系统的研究. 见:中国科协海峡两岸青年科学家学术活动月“仿真科学与技术”学术研讨会论文集,福州,2010

[2] 佚名. 智能 VR 新宠:LG Bot 球形监控机器人亮相. 电子质量, 2016, 3:57-57

[3] Mostefa M, Boudadi L K E, Loukil A, et al. Design of mobile robot teleoperation system based on virtual reality. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Control, Engineering & Information Technology, Tlemcen, Algeria, 2009. 2024-2029

[4] Králik M, Žáková K. Interactive webGL model of hydraulic plant. *IFAC Papersonline*, 2015, 48(29):146-151

[5] Mahmoud M S, Sabih M, Elshafei M. Using OPC technology to support the study of advanced process control. *ISA Transactions*, 2015, 55:155-167

[6] DirksenJ 著,李鹏程译. Thress.js 开发指南. 北京:机械工业出版社,2015

[7] Pettit J B, Marioni J C. bioWeb3D: an online webGL 3D data visualization tool. *BMC Bioinformatics*, 2013, 14(3):506-511

[8] 张晓科. 使用 C#开发 OPC Client 的研究和应用. 科技资讯,2013,2:33-33

[9] 金骥. 一种基于 Web 技术的雷达监控系统软件设计. 信息记录材料,2016,17(2):61-63

[10] Setiawan J D, Subchan M, Budiyo A. Virtual reality simulation of fire fighting robot dynamic and motion. In: Proceedings of the International Conference on Intelligent Unmanned Systems,Bali, Indonesia, 2009. 191-203

[11] 何伯虢. 基于 SYS TEC ECUcore-E660 和 CODESYS SoftMotion 的运动控制器开发. 可编程控制器与工厂自动化, 2014, 10: 48-53

[12] 孟彦京,唐霖,张宝童. 基于 C#的 OPC 技术在监控系统中的应用. 微计算机信息,2009,25(13):304-306

[13] Hess R. Blender foundations: the essential guide to learning Blender 2.6. Burlington: Focal Press, 2010

[14] Peng C. The Research and Design of 3D Web Guide System Based on WebGL. 见:第 26 届中国控制与决策会议论文集,长沙,中国, 2014. 4052-4054

[15] Craig J J 著,负超等译,机器人学导论(第 3 版),北京:机械工业出版社, 2011. 1-105

Industrial robot 3D virtual dynamic monitoring systems based on Web

Xu Jianming, Lv Hantai, Zhang Guijun, Yu Xinyi, Yu Li
(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023)

Abstract

A kind of virtual reality monitoring system for a 6 DOF (degrees of freedom) industrial robot controlled via CoDeSys SoftMotion was designed based on OPC standard protocols and Web technologies. Based on .NET platform's Windows forms application framework and MySQL database, the client monitoring program of industrial robots was designed by using the C# language. Industrial robots' joint angles and the motion states were configured to data items by the OPC server built-in CoDeSys. By using the WebGL technology and three.js framework, a Web3D model of the 6 DOF industrial robot was established. The 3D dynamic Web pages were designed based on robot kinematics. The data transmission and storage of industrial robots joint angles and motion states were implemented. And the 3D virtual dynamic monitoring system with the industrial robot was realized based on Web.

Key words: OPC standard protocol, Web technology, industrial robot, 3D virtual dynamic