

基于以太网的工业机器人远程信息通信处理研究

杨小强

(重庆科创职业学院 重庆 402160)

摘 要 提出并评估了一种通过以太网与工业机器人控制系统通信的方法,以实现在线指导和实时数据交换,通过全远程信息处理技术集成外部传感器,让工业机器人能感应周围环境并能应对未知事件,通过与操作员通信引导工业机器人实现相应运动或通过生成在线轨迹来使机器人运动,实现完全自动化的过程,大大提高生产率并降低企业运营成本。

关键词 远程控制;工业机器人;以太网

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X(2018)04-0077-05

一、引言

工业机器人的使用在全球范围内迅速增加,特别是在工业机器人技术的进一步发展之后,例如内置的控制软件和使用不同外部设备的界面选项的技术发展。尽管工业机器人的使用领域多种多样,但国际机器人联合会报告称,2014 年全球工业机器人密度约为 58/10,000^[1]。如果考虑在工厂中使用工业机器人的优势,这个数字可以被视为低密度。这种低使用率的主要原因之一是由于工业机器人的能力有限不能处理突发事件,另一个原因是由于各种给定的任务具有多样性以及它们在工作流程和环境中所需的配置不同,这就要求操作员具有更高地灵活处理和调整能力。因此,除非工业机器人能够通过提供与人类操作员相同的灵活性来满足这些动态要求,否则将无法实现完全自动化的过程^[3]。为了实现具有高效率且生产产品性能优越的自动化生产线,就要求工业机器人能感应周围环境并能应对未知事件,且能与操作员通信。将可以通过基于传感器的控制从而引导工业机器人实现。

二、远程信息处理过程

(一)硬件设置

本文研究的工业机器人是由丹麦公司 Universal

Robot 制造的 UR5 机器人。这是一款 6 自由度机器人,有效载荷为 5 公斤。UR5 控制系统提供了几个标准接口选项,包括以太网 TCP / IP 插口。使用这个接口实时测量:关节、位置、速度、转矩等,可以用 125Hz 的频率读取。它还可以直接从插口写入命令或将其包含在程序循环中,另外,力/力矩传感器被用作与工业机器人集成的外部传感器。ATI Gamma F / T 传感器类型中的 F / T 传感器通过其 NetBox 使用行数据传输(RDT),提供以太网接口,RDT 通过 UDP 协议提供的数据流高达 7000 Hz。因此,它不能直接集成到机器人控制系统。唯一使用的附加硬件是标准交换器用于将机器人控制系统和外部 F / T 传感器 NetBox 与远程信息处理机连接起来,如下图 1 所示。

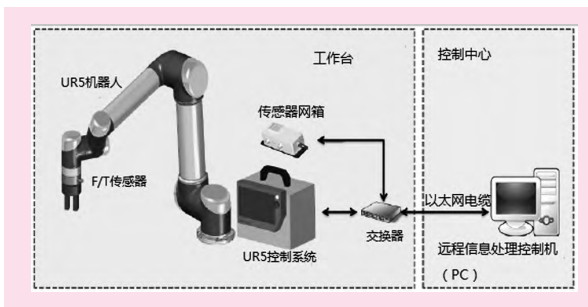


图 1 系统硬件架构

收稿日期 2018-07-07

作者简介: 杨小强(1983-),男,甘肃天水人,重庆科创职业学院讲师,研究方向:电气控制及智能控制。

(二)控制方案

完全远程控制是使用用户界面设备 PolyScop 在机器人控制系统内编写一个带有默认提供的机器人语言的小程序。此程序的目的是通过以太网接口从远程信息处理机接收与机器人默认命令格式不同格式的信息,并进行处理以指示机器人执行所需操作。在这种情况下,使用 PolyScop 编写并保存在控制系统内部的程序将通过处理并将转换为机器人可以理解的格式来充当命令的处理程序。如图 2 所示,该程序由五部分组成:

主程序之前,通过定义 IP 地址,端口号和设置 I / O,启动与远程信息处理机的通信。在这种情况下, PolyScop 是一个客户端,而远程信息处理机器就是服务器。

机器人程序:根据接收到的姿态来处理机器人的运动,这里定义了两种类型的运动,即关节空间和工具空间的运动。如果从远程信息处理机发出请求,则该动作可能会中断。

线程 1:机器人 TCP 的位置和方向($x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$)的当前姿态以 0.5 秒的频率连续发送到远程机器人。

线程 2:是根据收到的命令检查和更改 I / O 状态的部分。

线程 3:作为安全措施,通过不断检查信号来中断主程序中的移动。

这些线程与主程序并行执行,因此,即使在机器人处于运动状态时,也可以在同一时间处理不同的命令。

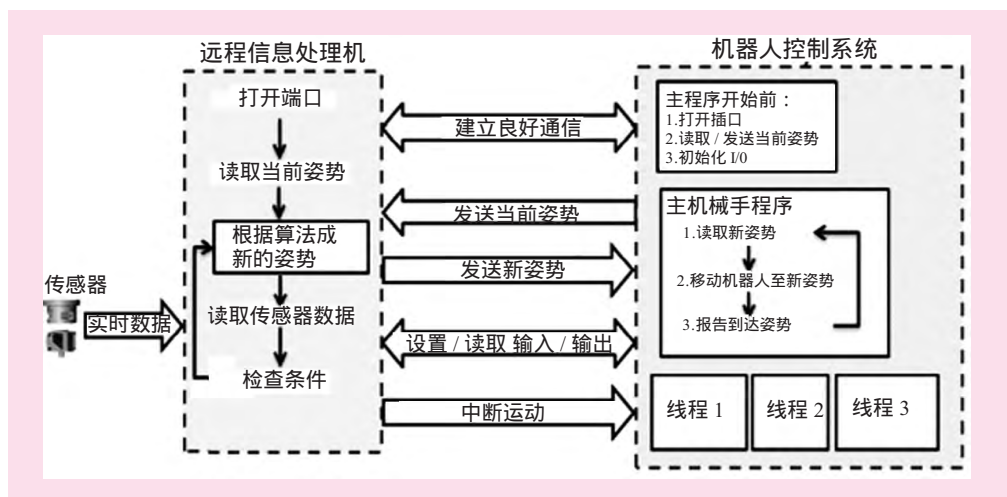


图2 远程机器人与 PolyScop 内部程序之间的通信

三种信息发送到控制系统并由线程部分处理。如表 1 所示的姿态信息由十个变量组成。表 2 解释了每个变量的用法。信息的格式和长度可以由用户根据所提供的控制系统规格和功能进行更改或扩展。目标信息具有定义机器人路径的基本变量。

表 1 从远程信息处理机发送的姿态信息格式

姿势信息 (10个变量)									
移动类型	参考值	位置			方向			选择	
		x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z	c1	c2

表 2 姿势信息变量用法说明

姿势信息变量	定义
移动类型	1、联合空间 2、线性 3、圆形混合
参考坐标	1、基础坐标 2、工具坐标 3、用户坐标
位置	TCP 目标位置
方向	TCP 目标方向
可选变量	两个变量可用于设置速度和加速度或混合半径,如果设置为 0,则使用默认参数。

第二种信息是为数字 I / O 指定的。它包含三个变量,第一个变量是定义从 I / O 读取还是写入,第二个变量是指定端口的数量。在读取输入端口状态请求的情况下第三个变量将被忽略,处理这种类型信息的线程将向远程信息处理机发送请求输入状态的编号。为了设置数字输出,这种情况下的变量 3 将定义该输出的状态。最后的信息类型是基于传感器数据或用户请求而中断机器人的移动或程序的执行。当发送中断信号时,机器人将等待新的姿态命令,控制系统的内部软件实时处理,使用这种方法的主要优点是命令执行安全性能高,另外,可以在控制系统内部定义错误处理场景,因此不需要停止机器人并重置该过程。这种方法的不足之处在于远程信息处理机和控制系统内部信息的双重处理,会使得命令的延迟或执行时间过长,这种方法被称为完全远程信息处理,因为机器人的控制始终处于远程信息处理机器的监控之下,并且随时可以中断某个特定命令的移动或执行^[2]。

对于半远程控制方法,是通过单独发送每个命令并行并等待控制系统执行它来完成的,并且只有在这之后发送下一个命令行。在这种情况下,将不存在用于

命令的处理程序,即 PolyScope,这将缩短执行时间。另一方面,为了从机器人中检索特定的数据,每次都要发送一个请求,而不是像先前方法那样发送并行程序连续数据。但是,直接检索数据的速度要快得多。这种方法的另一个缺陷是错误处理,如果命令有错误或缺失的值,则有三种可能的情况。首先,没有感应到的指示,即机器人将忽略错误的指令。第二种可能性是机器人将执行错误的命令,这将导致机器人与周围物体发生可能的碰撞。最后一种情况是当机器人进入紧急状态时,需要操作人员手动重启机器人,将这种方法称为半远程信息传递的原因是因为远程信息处理

机器在命令激励期间将失去控制,并且只有在完成当前命令后才能收听或执行下一个命令^[4]。

两种通信方法如图 3 所示。半远程方法中的命令应该根据机器人制造商提供的脚本语言进行格式化,因此它不像完全远程信息处理方式那样具有通用性。例如,要将机器人 TCP 从用户定义的坐标线性移动到目标位置,第一种方法需要发送`]`。在第二种方法中,用户坐标应该首先在个别请求中定义,然后每次使用移动功能时应定义移动的类型。以本研究中使用的机器人模式为例,上述要求将分别为`move]`,其中 α 和 v 分别代表加速度和速度。

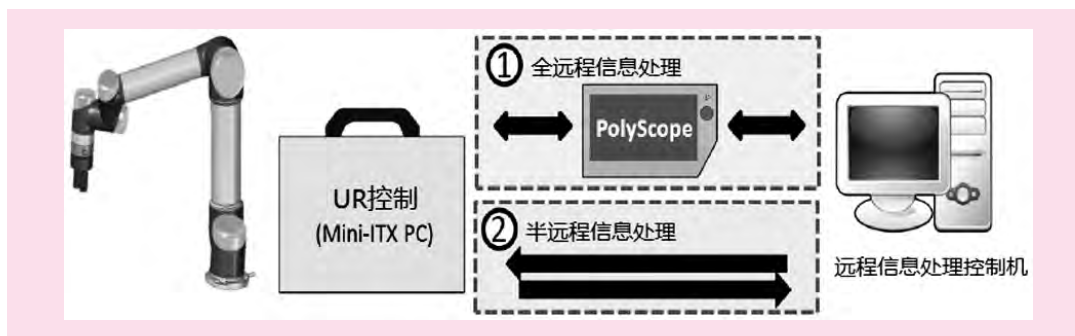


图 3 两种方法之间的通信控制通道和远程控制机

(三) 远程信息处理

本研究中使用的远程信息处理机是一台运行 Windows 8 操作系统的笔记本电脑。它有一个 1.7 GHz 和 4 GB RAM 的英特尔 iCore 3 处理器。控制程序在 LabVIEW 软件中实现,如图 4 所示,其中为用户创建了 F/T 传感器和机器人状态的可视化界面。还创建了基于两种方法的手动控制,以使用户可以在将被发送到机器人控制系统的消息和它们的格式之间进行选择。

到达远程信息处理器时请求之间的差值。具体数据由 Wireshark 网络分析仪软件捕获。如图 5 所示,该图所示的平均时间为第一次完全远程信号处理方法的 13.8 毫秒。在用 PolyScope 编写的内部程序中定义了一个第四个线程,以响应对 TCP 力的请求。该线程由五条命令行组成,它们通过设置一个变量来接收以太网上的消息,解释消息,调用函数 `get_tcp_force()`,将结果发送到远程信息处理机,最后一个循环来连续读取即将到来的信息^[5]。

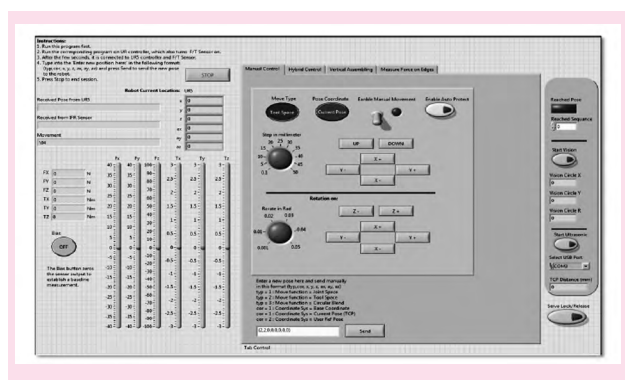


图 4 远程信息处理机控制软件 GUI

三、实验过程与结果

本研究以机器人钉孔装配过程进行实验,首先进行实验以检查由远程信息处理机发送的特定请求的执行时间。在这个实验中,远程信息处理机正在请求控制系统内部测量的 TCP 当前外力。执行时间计算为当数据包离开远程信息处理机并且应答数据包

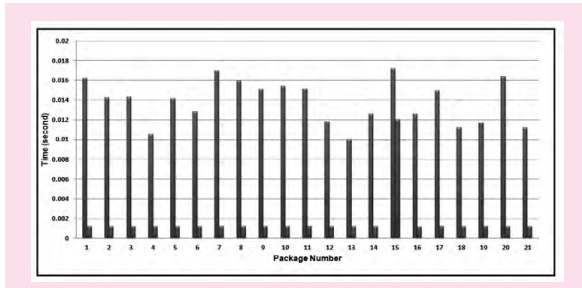


图 5 完全(蓝色)和半(红色)远程信息处理控制方法中特定请求的执行时间

另一方面,半远程方法的平均执行时间为 1.71 毫秒。这些初步结果表明,第二种方法具有预期的更快执行时间,因为通信直接在远程机器人和机器人控制系统之间进行。第二个实验目的是比较两种提议方法中相同装配应用的处理时间和经典离线控制。在这个钉孔装配应用中,机器人必须移动五个姿势,如图 6 所示。第一个姿势表示机器人应该从开始和结束过程的姿势。通过两个姿势 1 和 2 夹住挂钩,这是因为末端执行器需要垂直接近挂钉才能正确抓握。在

组装阶段也使用相同的步骤,即 3 和 4 的姿态。

在离线编程过程中,10 次运行到完整组装应用程序的平均处理时间为 7.38 秒。在达到姿态 2 和 4 后,在抓紧和释放栓钉的过程中,有两个 0.5 秒的等待步骤,以便在机器人再次开始运动之前给夹持器关闭和打开的时间。半远程控制也采用了相同的等待步

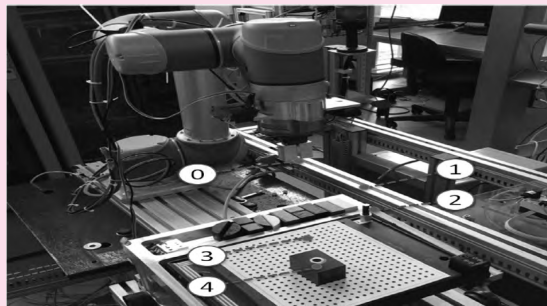


图 6 钉孔装配应用的五个姿态

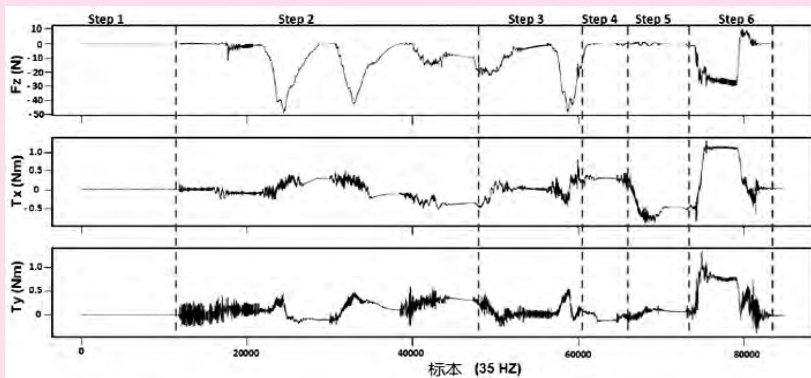


图 7 钉孔装配步骤中的 F/T 传感器读数

四、结论

本研究提出了一种基于以太网接口的远程机器人引导工业机器人的方法。利用这种方法,可以将外部传感器与具有有限传感器接口的现有机器人系统集成,从而可以实现更智能的引导算法。这将使工业机器人有机会应用于需要复杂工艺的应用中,例如电子部件的装配等。在表 3 中,给出了所提出的方法和现有的其它两种工业机器人控制方法的比较结果。

表 3 全远程信息与半远程信息比较结果

控制方法之间的比较	方法		
	全远程信息	半远程信息	离线(典型)
实时指导		•	•
外部传感器集成	•	•	
保护运动	•		
在线Trajectory一代	•	•	
实时数据交替	•	•	
远程信息控制	•	•	
插入式安装时间 (S)	12.45	10.21	7.38

骤。但是由于机器人只有在达到上一个姿势后才能接收到下一个移动命令,因此需要一个检查循环来比较传入的消息。每条信息都是以 125 Hz 频率从机器人发出,包含机器人的实际位置。因此,发送下一个移动命令的触发器是通过比较发送的姿态与接收到的实际姿态。这种方法的平均处理时间是 10.21 秒。对于完全远程控制方法,同样的等待步骤与以前的方法一样。至于触发下一个移动命令,从 PolyScope 内写入的程序发出一个到达信号,表示机器人已达到所需的姿态。这种方法的平均处理时间是 12.45 秒。所有方法中机器人的速度和加速度都是相同的。

基于视觉传感器和 F/T 传感器的自动钉孔组配采用了完全远程信号处理方法,通过不同的中断模型,使用直观的搜索算法来检测孔的接触力,如图 7 所示。组装任务分七个步骤进行,执行时间包括图像处理以及主要检测孔的位置,大约需要 27 到 32 秒完成。

参考文献：

- [1] IFR.Executive Summery:World Robotics 2013 Industrial Robots[EB/OL].http://www.ifr.org/index.php?id=59&df=Executive_Summery_WR_2013.pdf,2013-09-18.
- [2] 曹辉.基于 EtherCAT 的工业机器人通信技术研究[D].绵阳:西南科技大学学报,2016.
- [3] T. Choi,H.Do,J.Kyung,D.Park and C. Park in: Control of 6DOF Articulated Robot with the Direct-teaching Function using EtherCAT[J]. IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication,2013.
- [4] J. Loske and R. Biesenbach in: Force-torque sensor integration in industrial robot control [J]. 15th International Workshop on Research and Education in Mechatronics, 2014.
- [5] Steve Cousins in: Welcome to ROS[J]. IEEE Robotics & Automation Magazine,2010.

[责任编辑：胡大威]

Research on Remote Information Communication Processing of Industrial Robot Based on Ethernet

YANG Xiao-qiang

(Chongqing Creation Vocational College, Chongqing402160, China)

Abstract : This study proposes and evaluates a method for communicating with industrial robot control systems via Ethernet to enable online guidance and real-time data exchange. Integrating external sensors with full telematics technology allows industrial robots to sense the surrounding environment and respond to unknown events, by guiding the industrial robot to achieve the corresponding movement by communicating with the operator or by generating the online trajectory to move the robot, achieving a fully automated process, greatly increasing productivity and reducing the operating costs of the enterprise.

Key words : remote control; industrial robot; Ethernet

(上接第 76 页)

Sensor Fusion and Rotation Motion Reconstruction Based on Nonlinear Observer

HUNAG Xiao-yan

(Chongqing Kechuang Vocational College, Chongqing 402160)

Abstract : Although it is very easy to measure and record the acceleration and angular velocity of a person's body in space, reconstruction from these rotational displacement measurements is not a simple task. In order to define the amount of displacement, these quantities need to be integrated. The noise present in the signal has a significant influence on the measurement results, which limits the development of the technology in the field of industrial application technology. Noise filtering techniques (such as Kalman filter) are a big challenge for constrained nonlinear kinematics. This paper aims to elaborate on the topic, by providing a concise formulation to the problem under rigid-body assumptions and explore the use of nonlinear state-estimators to address the conditioning of the measured data, data fusion and reconstruction of the body motion. A comparison is drawn between an extended linear approach (EKF) and the proposed methodology, paying particular attention to the conditions that affect the performance of both methodologies. The paper compares results from numerical experiments using to better illustrate the differences between methodologies.

Key words : sensor fusion; rotational motion reconstruction; state observer; extended Kalman filter; sliding mode observer