

# 基于RSI的工业机器人开放式控制系统设计

吕鑫平<sup>1</sup>,彭晋民<sup>1,2</sup>,戴福全<sup>2</sup>,阮玉镇<sup>2</sup>,李海滨<sup>2</sup>

(1. 福州大学机械及自动化工程学院,福建福州350108; 2. 福建工程学院机械与汽车工程学院,福建福州350108)

**摘要:**为提高工业机器人的柔性化及智能化水平,同时满足数据的实时共享、监控,使控制系统具有可扩展性与可移植性,设计了一种基于x86平台和RSI的工业机器人开放式控制系统。引入RSI后可载入应用程序包,实现PC工控机与KUKA机器人系统的实时性数据交换。运用模块化设计思路,针对硬件系统,制定软件系统平台的各功能模块,配合Windows操作系统的处理能力,在保证工业机器人实时性的前提下,实现了功能的扩展性和增减性。该系统在KUKA工业机器人力反馈实验平台上进行了可行性验证,试验表明,此开放式控制系统的实时响应性良好,满足预期控制要求。

**关键词:**工业机器人;开放式控制系统;RSI;实时性

**中图分类号:**TP242.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)01-0130-04

## Design of Open Control System for Industrial Robot Based on RSI

LV Xinping<sup>1</sup>, PENG Jinmin<sup>1,2</sup>, DAI Fuquan<sup>2</sup>, RUAN Yuzhen<sup>2</sup>, LI Haibin<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

2. School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** To improve the flexibility and intellectuality of industrial robots, which can meet the requirements of the real-time sharing and monitoring of data, its control system can meet the scalability and portability, an open control system for industrial robot based on x86 platform and RSI is proposed. RSI is introduced to a reloadable application package, which can be used to realize real-time data exchange between PC for industry control and KUKA Robot system. And then, the modular design is applied to the development of the functional modules of the software system platform for the hardware system with the data processing capability of the Windows operating system and the function expansibility and increase and decrease are realized on the premise of guaranteeing the real-time performance of the industrial robots. The feasibility of this system is verified on the feedback experimental platform of KUKA industrial robot force. The test result shows that the real-time response of this open control system is good and meets the expected control requirements.

**Keywords:** industrial robot; open control system; RSI; real-time

## 0 引言

《中国制造2025》对我国制造业自动化、智能化、信息化需求提出了新的要求,不断完善和开发机器人及其运动控制系统在工业生产上的应用,是我国创新强国之路的关键点。目前,工业生产中,机器人在焊接、搬运、装配等领域的应用逐渐广泛,而信息化时代对开放式控制系统的要求也日益增加。

目前,对于开放式控制系统,主要针对的是由标准化硬件与具有开放式界面的操作系统所组成的体系结构。该系统具备可扩展性、互操作性、可移植性以及可增减性<sup>[1]</sup>。

RSI(robot sensor interface)是德国KUKA公司开发的用于实现机器人控制系统和传感器系统之间数据交换的应用程序包,其实时性响应在毫秒级<sup>[2]</sup>。本文提出一种

基于RSI的工业机器人开放式控制系统,将RSI系统用于机器人与外部PC进行数据交换,配合Windows操作系统强大的数据处理功能,在保证工业机器人实时性的前提下,实现功能的扩展性和增减性。

## 1 机器人与工控PC间的通讯

### 1.1 数据交互协议

如何实现工业机器人与外部PC间的数据交换是设计的关键点之一。引入库卡机器人RSI应用软件包,通过定义信号流配置文件以及用于以太网连接的XML文件,实现基于UDP网络通讯的机器人与外部PC机间的数据交换。RSI对象Ethernet的实时请求性高(PC必须在所定义的节拍内回答所到达的数据包,否则将出现超时错误)。毫秒级响应速度在确保实时性控制要求的基础上,

**基金项目:**福建省高校产学研合作项目资助(2017H6002);福建省教育厅中青年教师教育科研项目(JAT170375)

**第一作者简介:**吕鑫平(1992—),男,福建南平人,硕士研究生,研究方向为机器人力控制。

给系统开放性开发提供最大限度的设计空间。

通过 RSI 对象 Ethernet 实现通过以太网的数据交换。对象输入端上的信号发送给外部 PC,而输出端上提供由外部 PC 接收的数据。图 1 所示的是通过 Ethernet 进行数据交换的工作原理。

首先应用图形编辑器 RSI Visual 定义和保存 RSI 上下文,规定了机器人的信号处理框架,生成以下文件:

<文件名>.rsi (RSI Visual 的信号流配置);

<文件名>.rsi.diagram (根据 XML 示意图的 RSI Visual 信号流布局);

<文件名>.rsi.xml (机器人控制系统上用于信号处理的 XML 文件)。

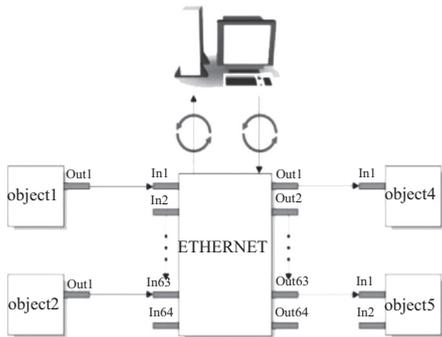


图 1 以太网数据交换工作原理

然后调用 RSI Visual 的 RSIEthernet 模块设定机器人控制柜与外部 PC 间通讯的数据内容及类型。该 XML 文件同信号流配置文件一起保存在机器人系统的指定目录下,同时 Ethernet 对象中需指定该 XML 配置文件名称。图 2 所示的是自定义的交互协议文件,元素说明如表 1 所示。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<ROOT>
  <CONFIG>
    <IP_NUMBER>192.168.1.3</IP_NUMBER>
    <PORT>59152</PORT>
    <SENDFreeInFree/>SENDFree
    <ONLYSENDFALSE/>ONLYSEND
  </CONFIG>
  <SEND>
    <ELEMENTS>
      <ELEMENT TAG="DEF_Rist" TYPE="DOUBLE" INDX="INTERNAL" />
      <ELEMENT TAG="DEF_RSol" TYPE="DOUBLE" INDX="INTERNAL" />
      <ELEMENT TAG="DEF_MACur" TYPE="DOUBLE" INDX="INTERNAL" />
      <ELEMENT TAG="DEF_Delay" TYPE="LONG" INDX="INTERNAL" />
      <ELEMENT TAG="DEF_Tech.C1" TYPE="DOUBLE" INDX="INTERNAL" />
      <ELEMENT TAG="Di1" TYPE="LONG" INDX="1" />
      <ELEMENT TAG="Di.gout.o1" TYPE="BOOL" INDX="2" />
      <ELEMENT TAG="Di.gout.o2" TYPE="BOOL" INDX="3" />
      <ELEMENT TAG="Di.gout.o3" TYPE="BOOL" INDX="4" />
    </ELEMENTS>
  </SEND>
  <RECEIVE>
    <ELEMENTS>
      <ELEMENT TAG="DEF_Estr" TYPE="STRING" INDX="INTERNAL" />
      <ELEMENT TAG="DEF_Tech.T2" TYPE="DOUBLE" INDX="INTERNAL" HOLDON="0" />
      <ELEMENT TAG="EKorr.A" TYPE="DOUBLE" INDX="1" HOLDON="1" />
      <ELEMENT TAG="EKorr.1" TYPE="DOUBLE" INDX="2" HOLDON="1" />
      <ELEMENT TAG="EKorr.2" TYPE="DOUBLE" INDX="3" HOLDON="1" />
      <ELEMENT TAG="EKorr.A" TYPE="DOUBLE" INDX="4" HOLDON="1" />
      <ELEMENT TAG="EKorr.B" TYPE="DOUBLE" INDX="5" HOLDON="1" />
      <ELEMENT TAG="EKorr.C" TYPE="DOUBLE" INDX="6" HOLDON="1" />
      <ELEMENT TAG="FREE" TYPE="LONG" INDX="7" HOLDON="1" />
      <ELEMENT TAG="Di0" TYPE="LONG" INDX="8" HOLDON="1" />
    </ELEMENTS>
  </RECEIVE>
</ROOT>

```

图 2 数据交互协议的 XML 文件

<CONFIG>中配置与机器人系统通讯的外部 PC 的 IP 地址和端口号等信息;

<SEND>中配置机器人控制器系统发送结构,定义 RSI 上下文中到达 Ethernet 对象输入端和发送给外部 PC 的数据及其类型。

表 1 元素说明

元素	说明
DEF_Rist	笛卡儿实际位置
DEF_RSol	笛卡儿额定位置
DEF_MACur	机器人轴 A1…A6 的电机电流
DEF_Delay	太晚到达的数据包的数量
DEF_Tech.C1…	主进中的技术参数 (功能发生器 1…6)
DEF_Tech.C6	
DEF_Tech.T1…	预进中的技术参数 (功能发生器 1…6)
DEF_Tech.T6	
DEF_Estr	提示或故障信息

<RECEIVE>中配置机器人控制系统接收结构,定义外部 PC 在 Ethernet 对象输出端上接收并在 RSI 上下文中继续传递给机器人控制系统的信号。

## 1.2 通讯过程

在运动控制实现中,设定外部 PC 控制 6 自由度机器人实现末端执行器的笛卡儿坐标移动,应用 RSI 对象 POSCORR (笛卡儿修正接通与限定),外部 PC 将笛卡儿修正数据发送给机器人,机器人根据相对修正值纯修正控制地移动。其信号流配置如图 3 所示。

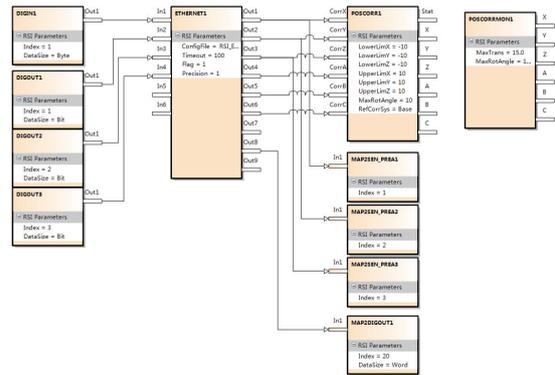


图 3 机器人信号流配置

信号处理信道激活后, Ethernet 通过 UDP/IP 协议将机器人系统内部数据发送给外部 PC,实现对机器人系统状态的实时监测,包括笛卡儿位置、机器人轴 A1-A6 特定位置、附加轴 E1-E6 特定位置、机器人轴 A1-A6 电机电流、延迟到达的数据包数量、主进和预进中的技术参数 (功能发生器 1-6)。

外部 PC 将包含笛卡儿修正值的自定义数据组发送给机器人,实现运动控制。

## 2 开放式控制系统结构设计

### 2.1 控制系统的整体结构框架

如图 4 所示,所搭建的体系结构按照所执行功能的不同分成 3 个模块:主控单元、执行单元及检测单元。控制



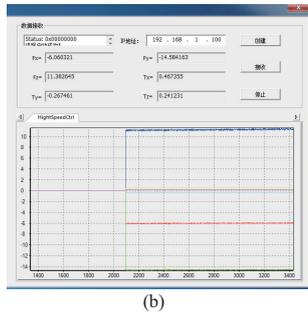


图7 机器人控制平台界面

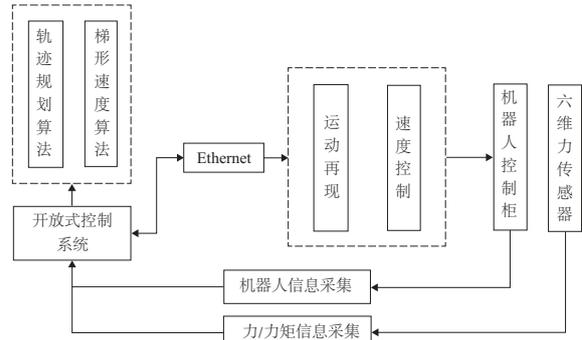


图8 控制系统数据与算法逻辑关系

工业机器人系统状态信息采集与传感器工作数据采集使用双线程并行通讯,RSI系统数据交换周期为4ms或12ms两种模式。ATI传感器采用EtherCAT/T类型,采样滞后最高1ms。对于所设计的实时系统,测试其任务切换延时以及中断响应时间。任务切换延时为系统运行多个任务时,当前任务结束后,控制系统切换到另一个任务过程中所耗费的时间。中断的响应时间是指系统接收到中断信号到操作系统作出响应,并完成切换转入中断服务程序的时间<sup>[4-5]</sup>。对以上2个主要参数进行实验,每个参数1500次的测试,测试结果如表2所示。

表2 系统实时性测试实验数据 单位:μs

参数	最小值	最大值	平均值
任务切换延时	0.7	2.1	1.18
中断响应时间	0.0	3.6	1.6

由测试数据得出所设计控制系统的实时性参数的量级均为微秒级。通常,工业机器人的控制周期≤1ms,所以本系统完全能够达到工业机器人的控制要求。

基于RSI的工业机器人控制系统满足开放性要求,系统的可扩展性与可移植性主要体现在:

1) 在保留整个控制系统的前提下,控制算法需要进行扩展和更新时,在程序中扩展新的算法即可实现。如图8所示,系统控制台采集机器人力及力矩信息之后,对数据进行解析,然后应用到相关算法当中,而最终反馈为功能执行。当功能需求增加,可对算法库进行更新或修改。

2) 控制系统是基于Windows操作系统,通过RSI系统实现机器人与工控机之间的数据交互的,可用于不同型号的库卡工业机器人。在库卡工业机器人中安装RSI应

用软件包,配置相关协议之后就可以成功进行交互,而对应不同型号的工业机器人(如不同自由度),依据功能要求,在不改变控制系统整体架构的基础上,只需对控制算法及操作界面做适当修改即可,极大地缩短了控制系统的开发周期。

### 4 结语

设计了一种基于RSI系统的开放式机器人控制系统,引入RSI系统,实现机器人与外部PC的实时数据交换,配合Windows操作系统的数据处理功能,在保证工业机器人实时性的前提下,实现了功能的扩展性和增减性。试验表明,该系统能够满足实时性要求,响应级别在毫秒级,开放式结构满足扩展性、可移植性要求。

#### 参考文献:

[1] 吕冬冬,郑松.工业机器人开放式控制系统研究综述[J]. 电气自动化,2017,39(1):88-91.  
 [2] KUKA Roboter GmbH.Robot Sensor Interface 3.3 [Z]. [S.I.]: KUKA, 2014.  
 [3] 刘长宏,徐国凯,宋鹏,等.6自由度机器人梯形速度控制直线插补算法研究[J]. 制造业自动化,2009,31(9):91-94,134.  
 [4] 毕鲁雁,刘立生.基于RTX的工业机器人控制系统设计与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,2013(3):87-89.  
 [5] 曲志兵,周波,孟正大,等.基于SERCOS-III的工业机器人控制器设计[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2015,43(S1):501-504.

收稿日期:2018-10-23

(上接第100页)

[3] 权帅峰.大口径闸阀阀体结构优化与可靠性分析[D].兰州:兰州理工大学,2009.  
 [4] 陈红.核阀流体动力学及流固耦合有限元分析[D].大连:大连理工大学,2013.  
 [5] A. Beune, J.G.M. Kuerten, M.P.C. Van Heumen. CFD analysis with fluid-structure interaction of opening high-pressure safety

valves[J]. Computers and Fluids, 2012, 64: 108-106.  
 [6] ALTONJ REICH, VIJAYAN Parthasarathy, ALEX Dimeo. Coupled fluid-structure interaction simulation of the opening of the target rock vacuum relief valve[C]. Atlanta: 2001 ASEM Pressure Vessels and Piping Conference, 2001:23-28.

收稿日期:2018-11-13