

工业互联网时间敏感网络应用研究

Application of the Industrial Internet Time-sensitive Networking

★北京和利时系统工程有限公司 虞日跃, 刘盈
★机械工业仪器仪表综合技术经济研究所 刘丹

摘要: 当前物联网的发展缺乏统一标准化的互联网规范, 仅仅是将数据从物的前端通过采集后传输到后台数据库, 然后一层层向上传递到各个应用层。那么, 所有的业务模式都只会是一个个孤立的解决方案。本文提出了基于TSN的工业以太网标准, 结合工业以太网的典型应用案例, 为物联网今后的发展提供一种新的建设思路。

关键词: TSN (时间敏感网络); 轴间同步; 运动控制

Abstract: Current development of the internet of things lack of standardized Internet standards, only collected the data from the front of the devices and then transfer it to the backend database, after then layer by layer up to each application layer. As a result, all service models will be isolated solutions. This paper proposed an industrial internet standard based on time-sensitive networking (TSN), combined with typical application cases of industrial Ethernet, provides a new construction idea for the future development of internet of things.

Key words: TSN (Time-sensitive networking); Inter-axle synchronization; Motion control

1 实时工业以太网概述

目前, 在工厂自动化设备的工业控制总线技术中存在着多种实时工业以太网, 比如Ethernet/IP、PROFINET、SERCOSIII、CC-Link、POWERLINK、

EtherCAT等, 这些协议都是为了解决IEEE802.3中数据碰撞的机制, 导致的不确定性的数据传输延迟。在标准以太网的基础上修改或增加了一些特定的协议, 以及采用了软实时或硬实时的方法, 以保证循环周期在1ms~100ms内不同级别的实时性和确定性。实时工业以太网主要应用在需要快速响应、确定时间周期的高速运转的机械设备, 如印刷机、折弯机、钢铁切割和各种机械手等。

2 实时工业以太网在运动控制产品中的应用

国内外做运动控制产品的公司, 如英国的翠欧 (Trio), 国内的和利时, 目前的运动控制产品, 在采用总线方式的轴同步时, 都是采用一个控制器带多轴的控制方式。如和利时的MC100XX系列运动控制产品, 采用的是EtherCAT或RTEX等ms级的实时总线技术。和利时MC系列运动控制器, 在多线切割机中的应用案例。

多线切割是一种通过金属丝的高速往复运动, 将蓝宝石等高硬脆性材料一次同时切割为数百片薄片的一种新型切割加工方法, 工作原理如图1所示。多线切割已经逐渐取代了传统的内圆切割, 成为硬脆材料切割加工的主要方式。多线切割机对运动控制技术指标要求: 系统至少8轴同步运行, 切割线速度至少800m/min, 切割线张力稳定 (张力波动在3N以内)。

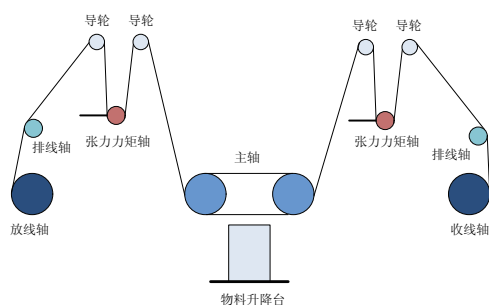


图1 多线切割原理框图

要达到以上运动控制技术指标要求，需要保证伺服控制周期 $\leq 1\text{ms}$ ，张力波动控制在 3N 以内，和利时的MC系列控制器中，采用EtherCAT实时总线的us级轴间同步技术，伺服控制周期和总线实时通讯周期都是 1ms 。系统配置图如图2所示。

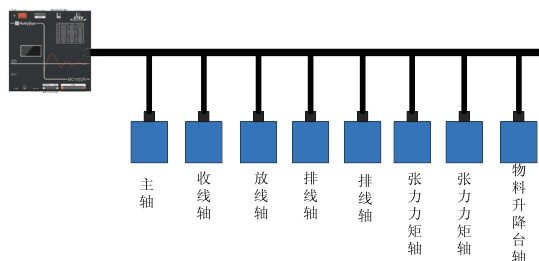


图2 和利时MC控制多线切割机框图

用以太网作为总线实现轴间同步，比直连轴（以开环脉冲或闭环模拟量方式控制步进或伺服电机）驱动执行器，在带载能力和安装灵活性方面，优势很明显。

3 什么是工业互联网时间敏感网络？

上面提到的各个厂家主推的实时工业以太网，并非标准以太网，虽然在满足机器运动控制等方面已经绰绰有余。但是这些协议在易用性、互操作性、带宽和设备成本上都存在一些不足，特别是当前大数据和云计算等进入工业控制领域、要求两化融合的背景下，不仅要保证大数据传输，而且要保证传输的实时性和确定性，这时现有的实时以太网协议就显得力不从心。为此，许多工业供应商、IT厂商和芯片提供商，加入IEEE 802标准委员会和AVnu联盟，共同更新标准以太网协

议，并为工业互联网的时间敏感型数据制定了低延迟数据传输标准。这个新标准称为时间敏感网络（Time-Sensitive Networking，简称TSN）。

TSN有着带宽、安全性和互操作性等方面的优势，能够很好满足未来万物互联的要求。其主要的工作原理是优先适用（IEEE P802.3br）机制，在传输中让关键数据包优先处理。这意味着关键数据不必等待所有的非关键数据完成传送后才开始，从而确保更快速的传输路径。

4 工业互联网时间敏感网络的技术试验平台

通过NI的CompactRIO搭建的两轴同步控制系统，对传统的以太网和TSN两种不同的网络进行比较。CompactRIO支持TSN，该系统框图如图3所示。NI的Controller1通过TSN将电机控制的转盘位置信息传输给思科的TSN交换机，通过此交换机把位置信息同时发送给2号控制器和另外一台交换机，另外一台交换机把位置信息通过TSN传输给3号控制器，2号和3号控制器根据接收到的位置信息控制转盘，做相应的运动。

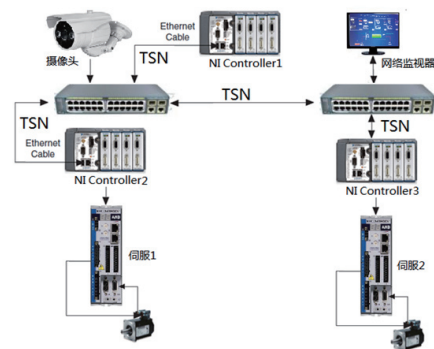


图3 NI的CompactRIO搭建的两轴同步控制系统

另外两个思科的交换机里同时还传输着视频大数据。把以太网摄像头的视频数据，通过思科交换机发送给网络监视器。

如果不启用TSN，而用UDP传输的方式，当两台交换机之间有视频等大数据传输时，由于受到网络上大数据的影响，两个转盘之间的同步位置会越来越差，两

个控制器之间丢失的数据也会越来越多。而当启用TSN传输时,两台交换机之间一直在传输视频大数据,但是两个转盘的位置保持很好的同步,两个控制器之间的数据也没有丢失。

这个演示系统表明,TSN能够保持时间敏感数据的优先传输,从而实现实时性和确定性。由于TSN采用标准以太网协议,TSN可无缝集成现有以太网应用和标准的IT网络来提高易用性。此外,TSN继承了现有以太网的许多特性,比如HTTP接口和web服务,实现了IIoT系统所需的远程诊断、可视化和修复功能。

5 工业互联网TSN的应用前景展望

智能制造描绘了一个宏观的工业愿景,正是通过大数据、云计算、物联网、仿真、虚拟现实、工业机器人、机器视觉、人工智能等基础技术,一步步实现智能制造的宏伟蓝图。工业物联网(IIoT)就是一个由日益智能且能互连互通的设备和基础设施构成的世界。时间敏感网络(TSN)新标准出现,解决了现有网络的一些缺点,新的TSN标准将会带来带宽、安全性、互操作、延迟和同步等好处,把需要和不需要实时数据传输的机器、人和物,连接起来。

在汽车领域,目前大多数的汽车控制系统刹车、引擎、悬挂等采用CAN总线,而灯光、车门、遥控等采用LIN系统,娱乐系统用FlexRay和MOST等车载网络的方式。TSN的标准和功能确定以后,TSN必将成为汽车行业的核心网络,为以后车联网和智慧交通打下基础。

在工业领域,当前制造业生产管理对于效能和良

率要求倍增,使得工业应用领域的通讯带宽需求日益攀升,期望透过工厂撷取的高信息量分析大数据,推动新一代智能制造应用。若全球工业互联网通讯协议行驶于TSN标准,可以很容易地透过集权式的云端伺服器,实现定制化生产、柔性制造,推动《中国制造2025》战略,达到协同制造、新兴业态等制造业的核心能力。

6 结语

新的TSN特征将在IIoT应用中通过增加通信要求的确定性和低延迟性,应该可以消除标准以太网未能作主骨干的IIoT网络的最后障碍,推动关键和非关键的控制信息和数据汇聚到单个网络中,通过增加必要的网络安全措施,真正实现一网到底。**AP**

(注:本研究依托智能制造专项综合标准化试验验证项目“工业控制网络标准研究和验证平台建设”进行。)

作者简介:

虞日跃,男,浙江东阳人,中级工程师,硕士,现就职于北京和利时系统工程有限公司,研究方向为测试计量。

刘盈,男,内蒙古呼和浩特人,初级工程师,硕士,现就职于北京和利时系统工程有限公司,研究方向为电气工程。

刘丹,女,辽宁沈阳人,教授级高工,博士,现任职于机械工业仪器仪表综合技术经济研究所,主要从事工业通讯及智能制造通用技术的研究。

参考文献:

[1] 802.3br-2016 - IEEE Standard for Ethernet Amendment 5: Specification and Management Parameters for Interspersing Express Traffic [S].