

5G在边缘增强型工业控制网络的应用探索

Application of 5G in Edge Enhanced Industrial Control Network

傅成龙,管立军,程 远(中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048)

Fu Chenglong, Guan Lijun, Cheng Yuan (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China)

摘要:

随着云计算、边缘计算、物联网等技术在工业领域的应用,工业控制系统正在向智能化方向发展,正在构建全新的边缘增强型工业控制网络。5G、网络切片、5G MEC等技术的应用,能充分满足未来工业控制系统的通信需求。5G可以根据实际需求连接边缘增强型工业控制网络中的现场层和边缘层,或连接边缘层和云层。将边缘层业务部署到5G MEC中,能够使5G网络对内容进行深度感知,真正实现5G网络与边缘增强型工业控制网络的协同融合。

关键词:

5G; 工业控制; 边缘增强型工业控制网络; MEC

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2021.07.009

文章编号: 1007-3043(2021)07-0036-04

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the application of cloud computing, edge computing and the Internet of Things in the industrial sector, industrial control system is developing in the direction of intelligence, and a new edge enhanced industrial control network is being built. The application of 5G, network slicing, 5G MEC and other technologies can fully meet the communication needs of future industrial control system. 5G can be used to connect the field layer and the edge layer, or to connect the edge layer and the cloud layer according to actual requirements. By deploying edge layer services in 5G MEC, the 5G network can perceive content thoroughly, which could realize the collaborative integration of the 5G network and the edge enhanced industrial control network.

Keywords:

5G; Industrial control; Edge enhanced industrial control network; MEC

引用格式:傅成龙,管立军,程远. 5G在边缘增强型工业控制网络的应用探索[J]. 邮电设计技术, 2021(7): 36-39.

1 概述

在过去的几十年中,工业自动化领域历经了单点离散控制、分布式控制系统、集散控制系统等发展^[1]。根据应用场景的不同,上述控制方式均广泛应用于不同的产业中。单点离散控制器适用于独立运作的机器,分布式控制系统在石化产业的流程化作业中有着广泛的应用。随着下一代工业革命的到来,工业控制系统将向网络化、智能化方向发展^[2]。

工业控制系统的一个智能化发展方向是引入云计算、边缘计算、物联网等新兴技术,构建全新的工业

控制网络架构——边缘增强型工业控制网络^[3]。在工业控制系统的网络化变革中,通信技术起着关键性作用。传统的现场总线网络已经无法适应工业自动化的发展趋势^[2]。近10年来,工业有线以太网以其广泛的适用性和价格优势得到了大量发展。而伴随着以5G和工业Wi-Fi^[4]为代表的无线网络技术的成熟,无线网络连接已经能够满足工业控制网络的时延和带宽要求。另外5G MEC (Multi-access Edge Computing) 技术能够与边缘增强型工业控制网络融合发展。

2 边缘增强型工业控制网络相关技术

边缘增强型工业控制网络充分利用了云计算、边缘计算、物联网等计算机技术。物联网将作业现场的

收稿日期: 2021-06-07

生产设备、传感器、摄像头等互联,以便将所有设备接入到一个更智能的系统中。云计算借助强大计算能力,通过分析大量来自现场的数据,为工业生产提供最优的方案。业界还在探索直接在云计算平台上建立云化PLC系统,直接控制现场设备自动化运行^[5]。然而,云计算服务器通常远离作业现场,在数据传输的物理距离上难以满足极低时延的要求。因此在作业现场边缘部署一个边缘计算服务器是必要的。边缘计算紧邻作业现场,对现场设备通过物联网上传的数据进行预处理,进而实现智能化作业。

边缘计算的引入使工业控制网络进行了重构。根据边缘计算产业联盟(Edge Computing Consortium, ECC)发布的边缘计算参考架构3.0^[6],整个系统分为云、边缘和现场3层。边缘计算位于云层和现场层之间,边缘层向下支持各种现场设备(执行器、传感器、摄像头等)的接入,向上可与云层对接(如图1所示)。云层和边缘层、边缘层和现场层可利用工业有线以太网或无线网络通信。无线网络具有高度灵活的优势,能满足现场设备的移动作业。

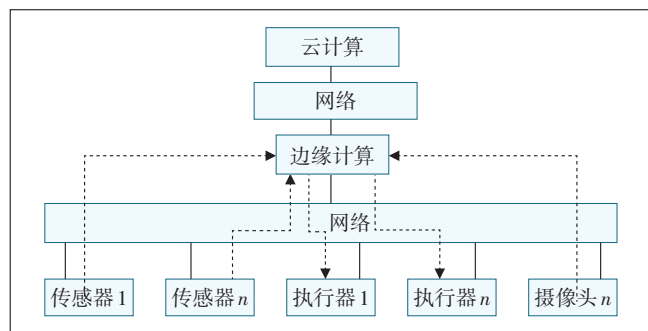


图1 边缘增强型工业控制网络的网络架构

3 无线网络与工业控制网络

随着无线局域网和无线广域网技术的成熟,无线网络在工业自动化领域越来越多地发挥作用。无线网络在无需为每个现场设备铺设网络线缆的情况下,提供工业以太网互联功能,使得设备随时随地接入物联网和工业控制网络。

3.1 传统无线局域网技术

无线局域网通常采用IEEE802.3和IEEE802.11标准。根据现场设备的类型,Wi-Fi、蓝牙、ZigBee、Z-wave等无线局域网技术在工业场景均有运用。其中,Wi-Fi支持标准的TCP/IP通信协议,能够直接接入工业以太网。而其余无线局域网技术通常需要额外的网关设

备来达到接入工业以太网的目的。根据无线传输功率“随距离增加而衰减”的原理,Wi-Fi的极限覆盖范围一般不超过500 m^[7]。一些工业用Wi-Fi制造商通过增大发射功率的方式来提高覆盖能力。Wi-Fi已经在工厂室内环境有所应用,建设通常采用有线网络线缆和无线AP(Access Point)相结合的方式。此类建设方式仍然以有线网络为基础,无线局域网为有效补充。

除了覆盖范围有限,无线局域网也存在竞争性和干扰性问题。IEEE802.11标准在物理层定义了无线局域网使用2.4 GHz频段和5 GHz频段。2.4 GHz和5 GHz作为全世界公开使用的无线频段,被多种无线技术使用,例如Wi-Fi、蓝牙、ZigBee、Z-wave。在此频段下的上下行数据传输通过CSMA/CA竞争机制获取传输时间^[8]。因此不同无线信号之间的干扰会对信号的收发质量和传输时延产生较大的影响。并且无线局域网的节点通常是私有的,无线信号传输过程中私有节点没有交流且进行竞争性传输,可能会存在信道资源阻塞的情况。另外,即便是最新的IEEE802.11ax标准,也没有对Wi-Fi的连接能力做出要求^[9]。当前的Wi-Fi并不能有效支持海量连接和低功耗连接。

不论是现有成熟的有线网络还是无线局域网技术,在边缘增强型工业控制系统中扮演的角色都是用于连接现场设备和边缘计算节点的网络通道。它们和边缘计算节点常常分属不同设备商,各自独立规划、部署、运行和维护。这在边缘增强型工业控制发展的早期,当接入的现场设备数量不大并且种类不多时,能够满足需求。然而,当全连接工厂时代到来时,会有数以万计的现场设备接入到网络中,数据的传输需求将会巨量增加。而且不同类型设备对于数据传输的质量、速率、时延有差异性需求,这对网络通道在有限资源情况下的调度能力提出了新的要求。

3.2 5G移动通信技术

5G具有低时延、大带宽和海量连接等核心能力^[10],能够较好地适应工业自动化的发展趋势。5G时延最低能达到1 ms,峰值速率能达到10 Gbit/s,支持百万级别的设备连接^[11]。这些核心能力能够完全满足边缘增强型工业控制系统的发展需要。同时,5G作为一种无线广域网技术,能实现工业现场室内外无死角覆盖,现场设备在小区间移动时能进行无缝切换。无线广域网技术的应用能够扩展现场设备的移动范围。设备可以在整个园区、整个城市乃至全国范围内移动,而不再局限于特定工厂厂房内。通信设备厂商对

于5G在室内分布还提出了超小型蜂窝基站等创新技术,增强5G在室内的覆盖能力。

另外,Wi-Fi等无线局域网技术共享相同频谱,无线节点间进行竞争性传输,可能会存在信道资源阻塞的情况。而5G采用国家颁发的专有频谱,不与其他无线信号发生干扰或竞争,如中国联通5G使用3 500~3 600 MHz的专用频段,频段号为n78。5G接入网和核心网能够进行中心化资源调度、优化数据传输质量,有效地避免了信道资源阻塞的情况,提高了无线通信的可靠性。

5G网络切片技术能够针对不同场景提供差异化网络保障能力。这也是5G实现大带宽、低时延和海量连接等特性的一项关键技术。网络切片技术能够对5G核心网、接入网和承载网进行协同资源调度。例如,工业控制子切片中的低时延要求远高于其他特性,而实时视频监控子切片中的大带宽需求较高。5G网络切片技术分别为工业控制子切片和实时视频监控子切片提供了差异化的网络保障,对有限的网络资源进行了合理有效的分配。

5G还引入了MEC,在通信网络边缘对数据进行预处理,避免无效数据对网络资源的占用。随着计算机网络的发展,MEC节点逐渐具备“转发+计算”功能。首先,MEC带来了5G用户层面功能(UPF)的下沉,能够对用户数据进行高速分发,缩短响应时间,满足时间敏感数据的传输。其次,引入边缘计算节点的5G网络与边缘增强型工业控制的网络架构能够互相打通。5G MEC能够承载工业控制中的边缘层的计算应用服务,从而实现边缘层业务和连接网络的协同融合。

随着5G在商业和工业领域的深入应用,5G移动通信运营商开始为企业和工厂建设5G专网。5G专网具备让企业自主定制网络的自由度,可以根据使用场所、工作类型提供不同的配置,在隐私和安全方面都有明显的优势。

4 5G在边缘增强型工业控制网络中的应用

5G具备大带宽、低时延、海量连接三大特性以及相比于有线网络和其他无线网络的优势,未来5G将会在工业控制网络中广泛地应用。5G将能够用于连接现场层和边缘层、边缘层和云层。5G网络与业务协同融合将成为最终形态,使5G从“连接交换网”走向“内容交换网”。

4.1 连接现场层和边缘层

随着边缘增强型工业控制网络发展,在一个工厂中的现场设备的数量和种类将会大量增加。据预测,一个大型工厂中可能会有数以千计甚至数以万计的执行器、传感器、摄像头等现场设备接入网络。例如在一个装备制造的工厂中,安装在作业生产的天车、机床等设备上的用于设备定位和状态检测的传感器和用于视频监控的摄像头,都可以利用5G与边缘服务器进行通信。业界正在积极研发具备5G接入能力的新一代现场设备。他们通过集成5G模组或者加装额外网关的方式使现场设备接入5G网络。

5G移动通信运营商根据实际需求部署5G基站,为工厂建设5G专网。边缘层的边缘计算服务器直接接入5G专网。5G专网可以依据现场设备的实际网络需求,提供端到端网络切片,差异化保障网络平稳运行。传感器对于网络的需求通常为低功耗、低带宽和单向传输。执行器的工业控制信号对网络的时延较为敏感。高清视频监控摄像头通常需要大带宽来满足其业务部署。5G专网为这些现场设备提供的差异化端到端网络切片,可以有效地进行网络资源配置,分别满足不同类型现场设备对网络的需求。

4.2 连接边缘层和云层

一般情况下,云层的云计算服务器远离业务现场,利用AI、大数据等技术为业务现场服务。边缘层的边缘计算服务器和云层的云计算服务器同时接入5G核心网,建立MPLS VPN隧道,在IP化网络中实现点对点连接。随着边缘增强型工业控制网络扩展到各个工业领域,一个大型工厂中的边缘计算服务器可能会有数十个之多,服务于不同类型的工业系统。一些不便于部署有线网络线缆的边缘计算服务器也可以通过集成5G模组或者加装额外网关的方式接入5G网络。

出于数据安全的考虑,越来越多的大型工厂将云计算服务器架设于企业内部,并利用5G专网通信。企业内部的云计算服务器和各类边缘层的边缘计算服务器同时接入5G专网进行通信。这类网络架构有高数据隐私性和高安全性的优势。

4.3 5G网络与边缘层业务协同融合

随着5G MEC向“转发+计算”方向发展,5G MEC具备直接承载软件应用服务的能力和计算能力。当应用服务部署到5G MEC后,来自现场层的数据将直接在MEC被分析、处理。MEC中的应用服务也具备向

现场层设备反馈信号、数据的能力。5G移动通信运营商发现了5G MEC所具备的计算能力与边缘层服务器的计算能力能进行有效结合,正在探索将边缘增强型工业控制网络中的边缘层应用服务直接部署于5G MEC中,以有效地促进网络与业务的协同融合。因此,5G网络不再是独立的“连接交换网”,仅用于连接各业务层。5G网络打破了网络 and 业务的边界,嵌入到边缘增强型工业控制网络中,促进业务的高效处理。5G MEC的转发能力和计算能力深度结合,发挥识别、判断的作用。基于内容对网络资源进行合理配置,实现高效转发、处理,形成以内容为基石的“内容交换网”。

协同融合后的网络架构如图2所示。与图1所描述的边缘增强型工业控制网络架构不同的是,5G接入网、5G核心网和5G MEC深入融合到该网络架构中。5G为工业控制网络提供连接现场层和边缘层、连接边缘层和云层的通信能力的同时,也承载了边缘层的边缘计算需求。在5G专网中,5G MEC下沉到企业层面,所有应用服务的处理均在企业范围内进行,企业无需担心安全性和保密性问题。5G网络与边缘层业务的协同融合需要5G移动通信运营商和边缘增强型工业控制系统提供商共同研发,探索如何实现5G MEC对内容深度感知,在业务分流和处理上发挥更大价值。

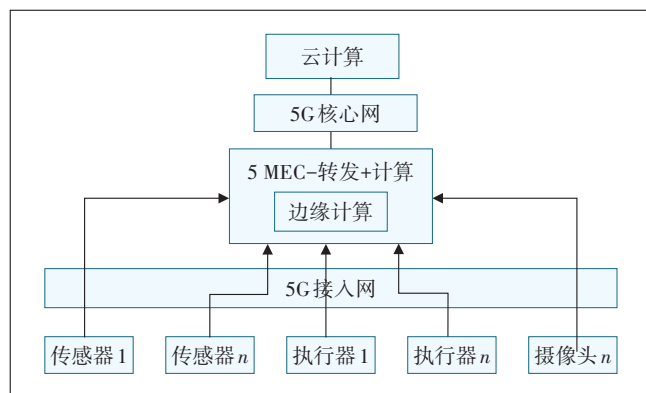


图2 5G与边缘增强型工业控制网络协同融合的网络架构

5 结束语

边缘增强型工业控制网络的提出是计算机信息技术在工业中大量应用的结果。同时,以5G为代表的无线网络技术能够在边缘增强型工业控制网络中发挥更大的作用。5G作为拥有授权频谱的无线广域网,相比于其他网络技术更有优势,能够更好地进行中心化资源配置,实现工业的高可靠性连接和全场景

业务融合。在边缘增强型工业控制网络中,5G能够用于连接现场层和边缘层、连接边缘层和云层,并通过网络切片技术为连接提供端到端差异化通信保障。另外,5G MEC下沉到用户本地,正在向“转发+计算”方向发展。5G MEC与边缘计算层的协同融合,将在工业控制实时智能处理等关键业务场景中发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] GALLOWAY B, HANCK P. Introduction to Industrial Control Networks [J]. IEEE Communications Survey. Tutorials, 2013, 15 (2): 860-880.
- [2] HRISTU-VARSAKELIS D, LEVIN S, ALUR R, et al. Handbook of networked and embedded control systems [M]. Boston: Birkhäuser Basel, 2005.
- [3] PALLASCIN C, WEIN S, HOFFMANN N, et al. Edge powered industrial control: concept for combining cloud and automation technologies [C]//2018 IEEE International Conference on Edge Computing (EDGE), 2018: 130-134.
- [4] 杨万里, 祝真滨, 孟丹, 等. 基于Wi-Fi技术的即时通讯系统设计 [J]. 科技风, 2019(24): 108-109.
- [5] GIVEHCHI O, IMTIAZ J, TRSEK H, et al. Control-as-a-service from the cloud: a case study for using virtualized plcs [C]//2014 10th IEEE Workshop on Factory Communication Systems (WFCS 2014), 2014: 1-4.
- [6] 李林哲, 周佩雷, 程鹏, 等. 边缘计算的架构、挑战与应用 [J]. 大数据, 2019, 5(2): 1-16.
- [7] MACHROUH Z, NAJID A. High efficiency WLANs IEEE 802.11ax performance evaluation [C]//2018 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD), 2018: 1-5.
- [8] CAGALJ M, GANERIWAL S, AAD I, et al. On selfish behavior in CSMA/CA networks [C]//Proceedings IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2005: 2513-2524.
- [9] 乔治. 新一代IEEE802.11ax标准简化为Wi-Fi6 [J]. 电信工程技术与标准化, 2018, 31(12): 88-88.
- [10] ANDREW G, BUZZI S, CHOI W, et al. What will 5G be? [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014, 32(6): 1065-1082.
- [11] SHAFI M, MOLISC F, SMIT J, et al. 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice [J]. IEEE Communications Survey Tutorials, 2017, 35(6): 1201-1221.

作者简介:

傅成龙, 毕业于瑞典皇家理工大学, 助理工程师, 硕士, 主要从事5G+工业产品研究与设计工作; 管立军, 毕业于东南大学, 工程师, 硕士, 主要从事5G+工业互联网方案设计与产品开发工作; 程远, 毕业于浙江大学, 工程师, 学士, 主要从事智能制造解决方案咨询与设计工作。