

通信感知计算融合在 工业互联网中的愿景与关键技术

Vision and Key Technologies of Communication Sensing and
Computing Integration in Industrial Internet

裴郁杉,唐雄燕,黄蓉,李瑞华(中国联通研究院,北京 100048)

Pei Yushan,Tang Xiongyan,Huang Rong,Li Ruihua(China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China)

摘要:

5G 赋能工业互联网为工厂数字化、智能化、无人化提供了基础,但是也对网络提出了协同感知、通过感知信息的分布式协同传输与决策、通信精准 QoS 保障的要求,从而实现智能化生产与控制。针对工业互联网中的新型业务场景与网络的需求,提出了通信感知计算融合在工业互联网中的愿景,对通感一体化、通感算一体化的网络架构与协同机制和通感算一体化能力开放等部分关键技术挑战进行了阐述,并简要介绍了高精度定位、设备/环境管理、云化控制等潜在工业应用场景。

Abstract:

5G enables Industrial Internet to provide the foundation for digital, intelligent and unmanned factories. But it also puts forward the demands of collaborative sensing, distributed collaborative transmission and decision of sense information, and accurate communication QoS guarantee, so as to realize the requirements of intelligent production and control. In view of the new business scenarios and network demands in Industrial Internet, the vision of convergence of communication sensing and computing in Industrial IoT is proposed. Then the key technology challenges such as the network architecture and collaborative mechanism of integration of communication, sensing and calculation and ability opening are described. At last, the potential industrial application scenarios are briefly introduced, such as the high precision positioning, equipment/environment management, clouded industrial control.

Keywords:

Communication; Sensing; Computing; Convergence of communication sensing and computing; Industrial Internet

引用格式:裴郁杉,唐雄燕,黄蓉,等. 通信感知计算融合在工业互联网中的愿景与关键技术[J]. 邮电设计技术,2022(3): 14-18.

0 引言

我国 5G 产业具有优势,但是工业现场产业处于竞争劣势,随着 5G 网络的广泛部署、工厂自动化产线柔性需求的持续增大和智能应用的持续增长,5G 已经成为智能制造的关键要素,5G+工业互联网已经在工业制造中获得了多种应用试点,为工厂信息化提供了基础。

但是扩展现实(Extended Reality, XR)、工业感知

关键词:

通信;感知;计算;通感算一体化;工业互联网

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.03.003

文章编号:1007-3043(2022)03-0014-05

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):



与工业控制等多种工业互联网服务的持续发展,对网络提出了更多需求,网络需要在获取、处理多维感知信息的同时,满足高带宽、低时延、精准定位等多种性能要求。

此外,设备层连接占工厂整体连接的 90% 以上,但目前工业现场控制与感知数据采集具有多种协议,且控制与感知数采网络形态各异,网络过程节点较多,无法保证工业确定性服务,且难以满足工厂产线的柔性需求。业务感知、人工智能和边缘计算等技术进步,使得网络有可能获知业务需求、网络资源及算力资源,并通过增强网络与计算能力,使能工业设备

收稿日期:2022-01-25

的无线接入与控制,解决目前工厂内协议繁杂、成本高的问题,实现5G工业互联网的确定服务。

目前学术界提出在未来6G中感知、连接、计算一体化的方案,满足复杂工业环境下确定性服务要求。文献[1]阐述了通信、感知、计算融合的愿景、关键技术、技术挑战与未来发展方向。文献[2]侧重介绍了工业互联网中感知、通信、控制3要素间的复杂耦合关系,综述了国内外关于工业互联网感知通信控制协同融合技术的研究现状和面临的问题,围绕工业互联网中感知通信控制协同融合问题对未来的研究方向进行了总结和展望。文献[3~11]则分别在通信感知、感知计算和通信计算两两融合的可行性方面进行了验证。为了更好地支撑新型智能业务,还需要更进一步地将通信、感知、计算三者进行融合。

在面向5G+工业应用中,业界提出充分利用云网端广泛存在的算力、采用分布式算力协同,通信感知一体化等方案提升工业互联网中多维感知信息的处理时效。本文首先对工业互联网中的新型业务场景与网络需求进行描述,阐述在工业互联网中考虑通感算一体化技术,实现现场网络信息多维感知、协作通信、智能计算功能的深度融合的必要性和通感算一体化在工业互联网中的愿景。其次,介绍通感算一体化网络演进的关键技术及其在工业互联网中的应用前景。

1 工业互联网中的新型业务场景与网络的需求

目前工业园区专网的数字化需求旺盛且需求种类繁多、差别大,包括智慧园区、智能制造、智慧工厂、车辆管理、无人驾驶、智慧仓储、视频监控、能耗管理、AGV小车、5G无人机等多样化业务。而这些业务对网络的需求差异巨大,表1所示为部分工业园区对通信网络的要求。

由表1可知,园区专网业务对网络时延与带宽的需求有很大差别。此外,工业园区专网业务对通信的可靠性要求也不同,如在岸桥远控场景中,PLC控制业务的时延要求小于20ms,视频业务的时延要求小于300ms,两项业务的通信可靠性都要求99.99%;而在园区定位场景中,通信时延和可靠性的要求可以放松到秒级和99.9%,但是具有高精度的定位要求。因此5G原有的eMBB、uRLLC和mMTC的三大场景已不能完全满足工业互联网的业务需求。此外,工业现场的设备层连接占工厂整体连接90%以上,但目前工业协

表1 部分工业园区对通信网络的要求

业务类别	保障带宽/(Mbit/s)	时延	终端移动性/(km/h)
机器间控制	>10	<20 ms	固定
装配机器人	>10	<20 ms	≤ 7.2
移动式起重机	>10	<20 ms	≤ 7.2
工业监控	>10	<50 ms	
机器视觉	上行 >100	<20 ms	< 8
大规模连接(安全应用)	根据实际需求	10 ms	
大规模连接(事件应用)	根据实际需求	50 ms~1 s	
大规模连接(区间应用)	根据实际需求	50 ms~1 s	
机器人精准控制	>5	毫秒级	<50
协作驾驶	>20	<20 ms	
1080P 高清视频	上行 15~20	<100 ms	
4K 高清视频	上行 40~80	<50 ms	
8K 高清视频	上行 120~160	<50 ms	
岸桥远控 PLC 控制	根据实际需求	<20 ms	
数据上传/监控	>4	<200 ms	

议繁多且互不相同、控制与感知数据采集的协议与网络形态各异、网络过程节点较多,无法保证工业确定性服务。因此5G+工业互联网需要能够智能感知工业设备状态与所用协议,从而智能适应工厂产线的柔性需求。

其次,工业现场环境通常较为复杂,从而造成现场无线传输环境的不确定性。现场设备对无线信号的遮挡和金属屏蔽,会使得5G网络现场覆盖情况无法达到原有的部署规划目标,并且设备的震动、高温及大量的电子噪声都会进一步恶化现场的无线传输环境。并且由于柔性生产的需要,工业现场的产线可能发生结构变化,但是网络不能够及时跟随变化等。而这些因素都会降低网络传输的可靠性。因此工业现场环境对5G+工业互联网提出了智能感知无线环境,提升传输可靠性的新型需求。

因此,在复杂的工业互联网中,需要考虑通感算一体化技术,实现现场网络信息多维感知、协作通信、智能计算功能的深度融合,提升网络传输效率、可靠性和业务确定性。

2 工业互联网中通感算一体化的愿景

以往的无线工业互联网对业务提供了过高的QoS保障,一方面浪费了网络资源,另一方面由于网络资源不足导致其他业务无法满足。而在未来的工业场景中,智能化的无线设备使得业务需求激增,网络的

通信资源和算力资源显得更加有限。因为在通感算融合的工业互联网中,需要对复杂工业现场网络信息进行智能感知,基于AI进行协同训练、协同决策,从而

使网络能够在业务全生命周期内,提供精准的通信QoS保障和算力QoS保障。图1为通信感知计算融合技术在工业互联网场景中的愿景。

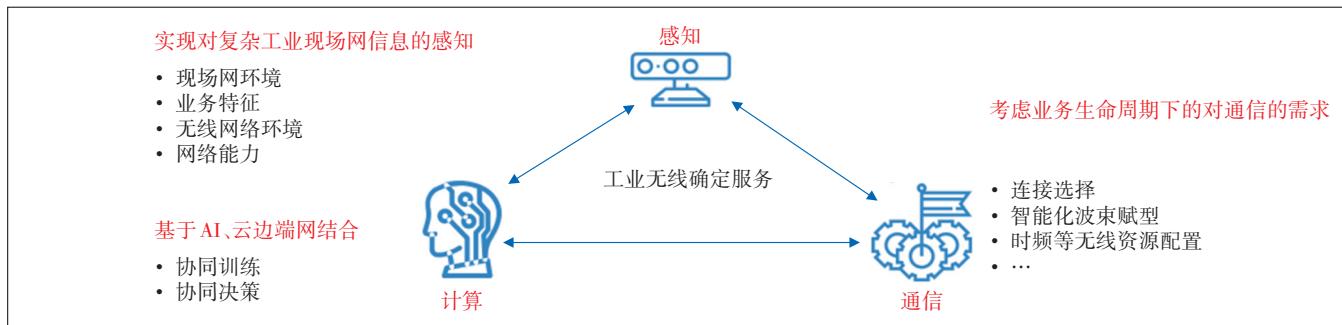


图1 通信感知计算融合技术在工业互联网场景中的愿景

2.1 感知

在工业场景中,需要对现场环境、业务特征、无线网络环境和网络能力等重要信息进行感知,具体如下:

a) 现场环境:现场设备的位置与运动状态、温度、震动等,帮助识别判断现场网络环境和判断目标的位置等;目标设备的新增或删减以及所用工业协议,帮助自适应网络管理与维护。

b) 业务特征:业务的QoS要求,主要包括时延及抖动要求、通信速率要求、可靠性要求、算力要求等;帮助确定网络通信资源及算力资源的优化调度。

c) 无线网络环境:包括周边电磁环境与干扰水平、信道状态等。

d) 网络能力:对网络的通信资源和算力资源的感知。

2.2 计算

为网络的智能感知和资源优化迭代提供计算处理能力。

事实上,网络中,终端、边缘云、基站、核心网及云等每一个网络节点均具备一定的计算能力。这就给云网边缘协同训练、协同决策提供了算力资源基础。

2.3 通信

完成感知信息的交互,协助完成协同智能感知与分布式计算。

基于智能感知信息,实现对通信资源的优化部署与调度,精准满足业务的QoS要求;实现网络的智能部署与运维,降低工业网络成本。

2.4 云网边缘协同的通感算融合

在工业互联网中,一方面工业现场中会存在大量

的数据感知和采集,单点感知往往不能够达到最优性能;另一方面,工业云负责完成数据的全量存储、管理以及中心决策,造成业务处理时延增大,通信传输负载高的问题。因此,充分利用网络内的各个节点能力,开展分布式的协同感知,并根据网络内各节点的计算能力,进行分布式的数据存储、处理与决策,提升感知性能、通信效率和决策性能,降低业务的时延与网络负载。

如图2所示,现场感知终端根据能力不同进行协同感知,并根据感知数据和业务特征和终端计算能力,可在终端侧进行部分数据的预处理,如在终端侧集成AI训练模块及计算功能,实现机器视觉、图像识别等大数据预处理,降低需要通信传输的数据量和时延。

基站侧,通过将多个节点的分布式感知数据进行协同传输与协同处理,实现感知能力的动态部署与感知数据的协作处理,在复杂的现场环境中有效地提升感知性能和通信效率。

云将端侧和基站侧预处理的数据进行统一纳管,并进行进一步计算处理。根据业务的实时性和带宽需求选择在现场级边缘云、园区边缘云或核心云上进行处理,云、网、边、端协同,算力层层解化,在降低通信、算力网络负载的同时,实现对业务QoS的精准保障,增强业务的确性。

3 通感算一体化的关键技术挑战

3.1 通感一体化

工业现场中,智能生产与柔性生产的需求使得现场环境和无线环境的感知越发重要,成像、定位等感

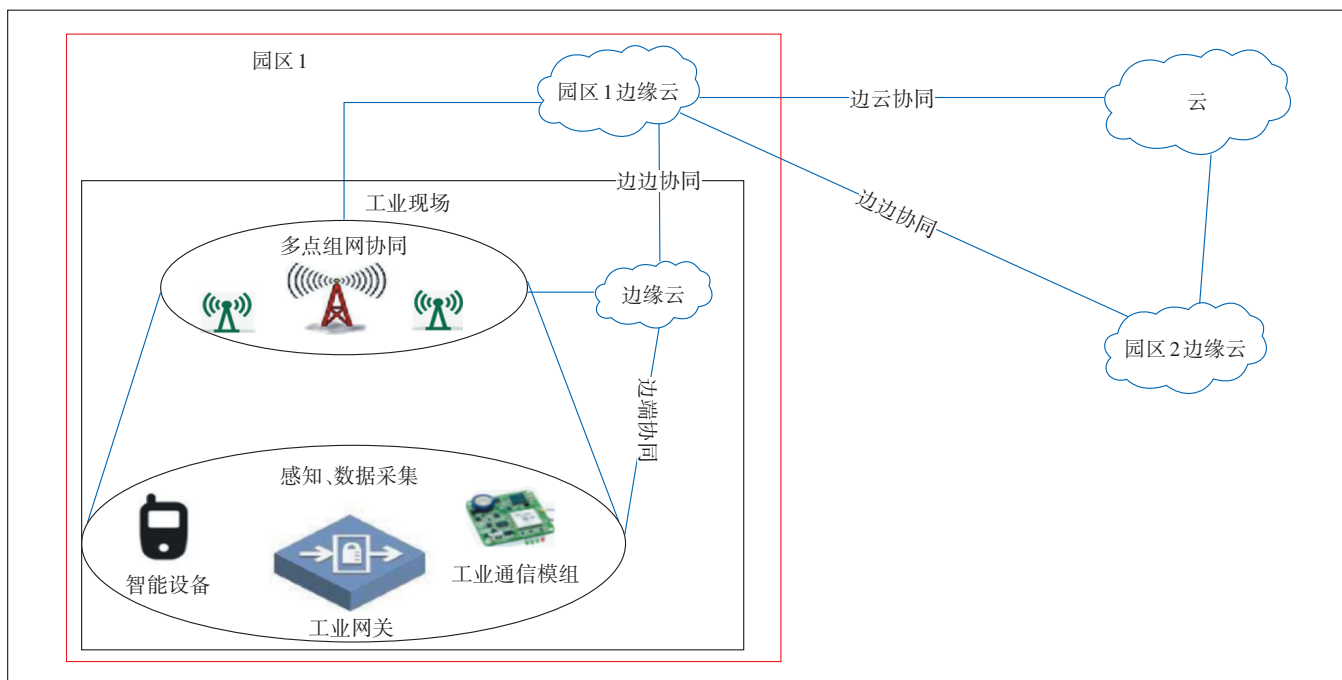


图2 云网边端协同的通感算融合

知数据也随之更加繁杂,5G/6G网络仍然不能够完全满足业务需求。另一方面,随着5G毫米波和6G太赫兹技术的研究与应用,移动通信采用的频率已与定位、成像等感知技术用频趋同^[11-13],使得复用通信和感知架构与信号可能进行一体化设计,开展通信感知一体化技术,在满足现场环境与无线环境的感知需求的同时可以极大地减少系统的冗余部署。

通信感知一体化技术已经成为5G+和6G的重要研究方向,其关键技术主要包括:

a) 一体化波形设计。一体化波形设计是将通信和感知完全或者高等级融合,采用一种波形设计同时满足通信与雷达信号的波形需求。

b) 一体化波束赋形技术。感知与通信对于波束赋型具有不同的性能要求。一体化的波束赋型技术需要具有按需灵活可控的特性,在进行有效的波束成形进而通信的同时,能够产生快速大范围扫描的感知波束,感知周围环境,满足多种应用场景需求。

c) 一体化干扰消除技术。干扰消除技术用以消除同频双工条件下,接收感知回波信号和上下行通信信号间的干扰问题,以提高感知精度。

3.2 通感算一体化的网络架构与协同机制

通感算一体化的网络是一种全新的网络形态,在网络架构上将产生较大的改变,需要考虑到云原生、智能化等先进技术,支持无线通信与感知功能的服务

与应用,实现通信资源与计算资源的有效组织和联合优化。

文献[12]提出了实现通信感知计算一体化的网络架构(如图3),主要包括了网络大脑(网络智能与控制中心)、感知控制功能、通信控制功能、计算控制功能、用户控制功能、业务控制功能等功能实体,以及计算节点、通信节点(接入转发)、感知节点和终端节点等资源实体。其中,网络大脑基于全局感知进行全局通信与算力资源的决策调度,实现对业务需求的精准保障。感知控制功能根据网络节点的能力,将感知需求调度分布到各网络节点上,形成协同感知能力。

3.3 通感算一体化的能力开放

如表1所示,工业互联网中的业务特征千差万别,

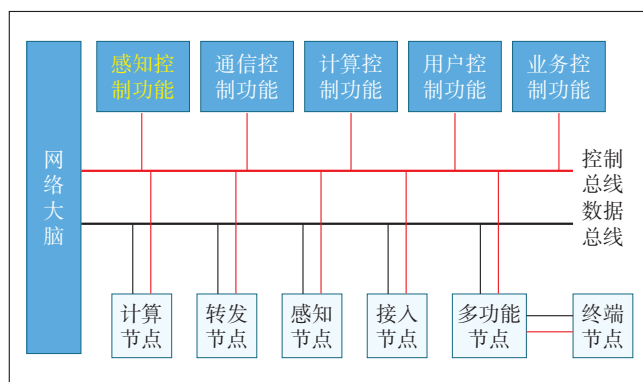


图3 通信感知计算一体化网络架构

智能机器人控制、人员/设备及未来新兴业务在对工业互联网提出通信要求的同时,也提出了定位、成像等感知需求,以及传输感知信息到计算节点进行实时/分布式处理,进行智能化处理、决策和工业控制等需求。

这将要求网络能够面向客户与业务需求,制定个性化的通感算能力要求,包括感知性能、通信性能、算力性能等多个维度的QoS指标,进行多维能力和资源的灵活分布与调度,在满足行业对设备耗电、成本部署等要求的同时,实现对业务提供确定的QoS能力。

4 通感算一体化在工业互联网中的潜在应用

通感算一体化在工业互联网中有如下的潜在应用场景。

a) 高精度定位。通过通信感知一体化实现高精度定位,可以将定位精度提升到厘米,可广泛应用于接近检测、智能机器人运动控制、智能物流管理、人员/设备位置管理等应用中。此外与边缘智能计算相结合,可以实现实时的高精度定位,使能实时运动控制和工业控制等业务。

b) 设备/环境管理。基于通感一体化技术,实现对现场环境与设备性能的感知,并与人工智能和云/边缘分布式计算相结合,实现对现场设备与环境的管理,如机器状态识别、环境状态识别、身份与手势识别、缺陷识别等。

c) 云化控制。通过采用无线网络将感知信息快速传递到(边缘)云中心进行计算,可以将终端需要解决的问题进行云化,从而降低对现场终端的要求,简化现场的有线部署。通过云边缘协同,实现感知数据—控制决策—控制执行等实时数据的快速通信,此类应用包括云化机器人、云化PLC控制等场景。

5 总结

随着工厂数字化、无人化、智能化的进一步发展,工业现场环境将出现柔性可变的趋势;而越来越多智能设备的出现,也将对网络提出低时延、高精度的感知能力、通过感知信息的分布式协同传输与决策等要求,以实现智能化生产与控制。这就需要网络实现通信、感知、计算一体化,对现场环境、无线环境、业务特征和网络通信及算力资源进行快速协同感知与决策,实现对网络通信资源与算力资源高效灵活的管理,提高网络资源的利用率和减少能源消耗,满足对业务QoS的精准保障需求。

参考文献:

- [1] 闫实,彭木根,王文博. 通信-感知-计算融合:6G愿景与关键技术[J]. 北京邮电大学学报,2021,44(4):1-11.
- [2] 田辉,贺硕,林尚静,等. 工业互联网感知通信控制协同融合技术研究综述[J]. 通信学报,2021,42(10):211-221.
- [3] YOU X H, WANG C X, HUANG J, et al. Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts [J]. Science China Information Sciences, 2020, 64(1): 110301.
- [4] KOBAYASHI M, HAMAD H, KRAMER G, et al. Joint state sensing and communication over memoryless multiple access channels [C]// 2019 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT). Paris, France: IEEE, 2019: 270-274.
- [5] ZHANG J A, HUANG X J, GUO Y J, et al. Multibeam for joint communication and radar sensing using steerable analog antenna arrays [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68(1): 671-685.
- [6] YUAN X, FENG Z Y, ZHANG J A, et al. Spatio-temporal power optimization for MIMO joint communication and radio sensing systems with training overhead [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2021, 70(1): 514-528.
- [7] CHEN L, DING Y F, LYU D D, et al. Deep multi-task learning based urban air quality index modelling [J]. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, 2019, 3(1): 1-17.
- [8] GAO Y J, LIU L, HU B X, et al. Federated region-learning for environment sensing in edge computing system [J]. IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 2020, 7(4): 2192-2204.
- [9] HU Q, GAO F F, ZHANG H, et al. Deep learning for channel estimation: interpretation, performance, and comparison [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2021, 20(4): 2398-2412.
- [10] 中国移动, 华为. 算力感知网络技术白皮书[EB/OL]. [2021-12-15]. <https://www.doc88.com/p-54661817523235.html>.
- [11] YANG Y. Multi-tier computing networks for intelligent IoT [J]. Nature Electronics, 2019, 2(1): 4-5.
- [12] IMT-2030(6G)推进组. 通信感知一体化技术研究报告[EB/OL]. [2021-12-15]. <https://max.book118.com/html/2021/0917/8141126071004005.shtm>.
- [13] 杨艳, 张忠皓, 马静艳. 6G通信感知一体化架构与技术研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(9): 1-4, 15.

作者简介:

裴郁杉,毕业于北京邮电大学,高级工程师,博士,主要研究方向为通信感知计算一体化、5G+工业互联网;唐雄燕,中国联通研究院副院长、首席科学家,教授级高级工程师,主要研究方向为宽带通信、互联网/物联网、新一代网络等;黄蓉,毕业于北京邮电大学,高级工程师,工学博士,主要从事移动网络架构及关键技术,边缘计算等领域研究工作;李瑞华,毕业于中国科学院大学,硕士,主要从事通信、感知、计算融合,以及工业互联网等领域的研究工作。