

边缘计算在工业自动化中的应用研究

赵春瑞

迈科斯(天津)技术服务有限责任公司 天津 300452

【摘要】随着工业4.0时代的到来,工业自动化已成为制造业转型升级的关键驱动力。在这一背景下,边缘计算作为一种新兴的计算模式,正逐渐展现出其在工业自动化领域的巨大潜力。本文探讨边缘计算在工业自动化中的应用,以期对相关领域的研究者和实践者提供有益的参考和启示。

【关键词】边缘计算; 工业自动化; 传感器

0 引言

工业自动化系统往往需要实时处理大量的传感器数据,并根据这些数据做出快速决策。边缘计算是一种将计算任务、数据存储以及应用服务从云端推向网络边缘的技术。它在网络的边缘部署计算资源,使得数据能够在产生的地方被及时处理和分析,从而减少了数据传输的延迟,提高了系统的响应速度和可靠性。在此背景下,对边缘计算在工业自动化中的应用进行研究具有极大的现实意义。

1 边缘计算概述

1.1 边缘计算的基本概念

边缘计算是一种分布式计算模型,其核心思想是将数据处理和计算资源放置在接近数据产生源头的边缘设备、传感器或用户设备上。具体来说,边缘计算在靠近物或数据源头的一侧,采用网络、计算、存储、应用核心能力为一体的开放平台,就近提供最近端服务^[1]。

1.2 边缘计算的关键组件

边缘计算,作为一种分布式计算架构,在网络边缘(即数据源附近)执行计算任务,来减少数据传输延迟、提高响应速度和减轻云中心的压力。这一架构的成功实施依赖于一系列关键组件的协同工作,具体包括以下几个部分。

1.2.1 边缘节点

边缘节点是边缘计算架构的基石,它们直接位于数据生成的源头附近,负责数据的初步采集和处理。这些节点涵盖了从简单的传感器到复杂的嵌入式系统、网关、路由器、摄像头等多种类型的计算设备。传感器用于监测环境变化(如温度、湿度),摄像头则用于视频监控和图像识别,而网关和路由器则负责将这些数据从物理世界传输到数字世界。嵌入式系统则可能集成了数据处理和决策制定的能力,能够在本地执行一些基本的分析任务。边缘节点

的多样性和分布性使得边缘计算能够灵活适应各种应用场景,从智能家居到工业自动化,无所不包。

1.2.2 边缘网关

边缘网关作为连接边缘节点与云端或数据中心之间的桥梁,扮演着至关重要的角色。它们负责数据流的协调和管理,确保数据的准确传输,还承担着数据的预处理和初步分析任务。数据压缩、加密、过滤等手段,边缘网关能够减少不必要的数据传输,提高网络效率,同时保障数据的安全性和隐私性。此外,边缘网关还能根据数据的优先级和紧急程度,智能地调度资源,优化数据处理的流程。

1.2.3 分布式计算平台

分布式计算平台是支撑边缘计算高效运行的核心软件架构。它利用容器化、微服务、分布式数据库等技术,实现了计算资源和数据资源的动态分配和管理。这些平台不仅支持大规模并行计算和分布式存储,还提供了丰富的开发工具和API,使得开发者能够轻松构建和部署边缘应用。智能调度算法,分布式计算平台能够确保任务在最适合的边缘节点上执行,从而最大化利用资源,提高系统整体性能。

1.2.4 数据存储和管理

在边缘计算环境中,数据存储和管理是确保数据处理和访问效率的关键。由于边缘设备通常资源有限,因此它们需要具备高效的数据存储技术,如分布式文件系统、内存数据库等,以快速存取和处理数据。同时,边缘设备也需要具备数据管理能力,包括数据去重、索引、备份和恢复等,以保障数据的完整性和可用性。为了支持实时数据处理和智能分析的需求,边缘存储系统还需要与分布式计算平台紧密集成,实现数据的无缝流动和高效利用。

2 工业自动化的核心技术

2.1 高精度传感器技术

传感器作为工业自动化领域的核心技术之一，扮演着至关重要的角色。它是一种精密装置，能够精准地检测各种物理量，如温度、压力、流量、位移、速度和重量等，这些物理量在生产环境中是评估设备状态、工艺流程和产品质量的关键指标。将这些物理量转换为可测量的电信号或数字信号，传感器使得自动化系统能够实时捕捉生产现场的各种信息。在机械加工、汽车制造、电子产品制造等多个工业领域中，高精度传感器技术被广泛应用于生产线上的各个环节，从原材料的输入到成品的输出，无不体现着传感器的身影。它们提高了生产效率，还确保了产品质量的稳定性和一致性。通过将这些传感器信号输入到自动化控制系统中，企业能够实现生产过程的智能化监控和管理，从而优化生产流程，降低能耗，提高整体运营效率。

2.2 PLC与SCADA系统

PLC（可编程逻辑控制器）和SCADA（分布式数据采集和监控系统）系统是工业自动化中不可或缺的核心技术。PLC是一种专为工业环境设计的数字运算操作电子系统，具有可靠性高、性能稳定、技术成熟和使用广泛等特点。它适用于工业现场的测量控制，能够实现逻辑控制、定时控制、计数控制和顺序控制等功能，广泛应用于生产线自动化、过程自动化和机器自动化等领域。

SCADA系统则是一种用于远程监控和控制工业设备的软件系统，它集中了PLC系统的现场测控功能强和DCS（集散控制系统）的组网通讯能力的两大优点。SCADA系统能够实时采集和显示工业设备的运行状态和参数，提供报警和事件记录功能，并支持远程控制和调节。它适用于各种规模的工业环境，如油田、电力系统和制造业等。

2.3 机器视觉技术

机器视觉技术，作为工业自动化不可或缺的核心组成部分，采用高度模拟人类视觉系统的工作原理，实现了对图像信息的精准采集、高效处理与深入分析。这一技术能够对生产线上的目标物体进行精确识别、高效检测、细致测量，还能实现智能控制，极大地提升了工业自动化水平。机器视觉技术以其高精度、高效率和高可靠性的显著优势，在质量检测环节中，能够及时发现产品缺陷，确保产品质量；在产品组装过程中，能够精准定位零部件，提高组装精度与效率；在自动导航应用中，能够引导机器人在复杂环境中自主导航，完成既定任务；在数据采集方面，能够快速提取并分析图像中的关键信息，为生产决策提供有力支持。因此，机器视觉技术被广泛应用于制造业的多个关键环节，成为推动工业自动化向更高层次发展的重要

力量。

3 边缘计算在工业自动化中的具体应用

3.1 工业机器人控制

在传统的工业机器人控制体系中，机器人往往依赖中央服务器或云端进行数据处理和指令传输，这导致了数据传输的延迟，也增加了系统的复杂性和维护成本。而边缘计算的引入，则将计算和数据存储资源下沉至机器人所在的边缘网络，实现了对机器人控制的即时响应和精准管理^[2]。

以汽车制造行业的焊接机器人为例，焊接过程中需要严格控制焊接速度、温度和力度，以确保焊缝的质量和强度。传统的控制方式下，焊接机器人需要将实时数据上传至中央服务器，再由服务器根据算法计算后下发指令，这种方式响应速度慢，还可能因网络延迟导致焊接质量的不稳定。而采用边缘计算后，焊接机器人可以直接在本地进行数据处理和决策，根据实时传感器数据快速调整焊接参数，从而实现了对焊接过程的精确控制。此外，边缘计算还能实现多个焊接机器人之间的协同作业，实时数据交换和共享，优化焊接顺序和路径，提高生产效率。

边缘计算在工业机器人控制中的另一个显著优势在于其强大的数据处理和分析能力。以智能制造领域的装配机器人为例，装配过程中需要对零部件进行精确识别和定位，以确保装配的准确性和效率。传统的识别方式往往依赖于图像处理和机器学习算法，但这些算法需要大量的计算资源和时间。而边缘计算则能在本地进行高效的图像处理和数据分析，实现对零部件的快速识别和定位。同时，边缘计算还能根据历史数据和实时数据，对装配过程进行预测和优化，提前发现潜在的装配问题，避免生产中断和质量问题。

3.2 工业设备监控与预测维护

边缘计算通过其分布式计算架构，将计算能力和存储能力推向数据产生的源头，即工业设备的附近。这种方式显著降低了数据传输的延迟，提高了实时数据处理的能力。边缘计算节点能够实时接收来自工业设备的传感器数据，如温度、压力、振动等，并进行快速分析和处理。对这些数据的分析，边缘计算可以识别出设备的异常行为，如温度异常升高、振动频率变化等，从而触发预警机制，提醒操作人员及时采取措施。边缘计算还对历史数据的建模和分析，预测设备的未来状态和寿命，为设备的预测性维护提供有力支持。

以某化工厂的设备监控与预测维护为例，该化工厂采用了边缘计算技术对生产线上的关键设备进行实时监控。在

设备上部署传感器和采集设备数据，边缘计算节点能够实时获取设备的运行状态和参数。一旦设备出现异常行为，如温度异常升高或振动频率异常，边缘计算节点会立即发出预警，通知操作人员进行检查和维修。同时，边缘计算还对历史数据的分析，预测了设备的未来状态和寿命，为设备的定期维护和更换提供了科学依据。采用这种方式，该化工厂成功避免了多次设备故障导致的生产中断，显著提高了生产效率和设备利用率。

3.3 能源消耗监测与优化

边缘计算技术，作为工业4.0和物联网时代的关键技术之一，其在工业能耗监测与优化中展现出了巨大的潜力和价值。将数据处理和分析任务从中心服务器转移至网络边缘的设备上，边缘计算极大地减少了数据传输的延迟和带宽需求，从而实现了工业能耗的实时监测和高效管理。在工业能耗监测的实践中，边缘计算节点扮演着至关重要的角色。这些节点能够实时接收来自各类传感器和监测设备的能耗数据，包括但不限于电流、电压、功率等关键参数。这些数据的采集和传输过程极为迅速，得益于边缘计算的高效数据处理能力，使得系统能够在第一时间获取到最准确、最全面的能耗信息。对这些海量数据的快速处理和分析，边缘计算能够识别出能源消耗的异常模式，如能耗的突然增加或减少、能源利用效率低下等潜在问题。一旦系统检测到这些异常模式，便会立即触发预警机制，用声光电等多种方式提醒操作人员及时关注并采取相应措施。

3.4 智能生产调度与优化

第一，边缘计算在智能生产调度中的应用，主要体现在对实时数据的快速响应和处理上。在复杂的工业自动化环境中，生产线上的传感器和设备会产生大量的数据，这些数据包含了生产状态、设备性能、物料流动等关键信息。传统的数据处理方式需要将这些数据上传到云端进行分析，但这种方式存在延迟，且对网络带宽有较高的要求。而边缘计算技术则能在设备附近进行实时的数据处理和分析，大大减少了数据传输的时间，提高了系统的响应速度。例如，某汽车制造企业利用边缘计算技术，在生产线上安装了大量的传感器，实时采集生产数据。边缘设备根据这些数据，能够迅速分析出生产线的运行状态，并自动调整生产参数，确保生产过程的稳定性和高效性。这种智能调度提高了生产效率，还降低了运营成本，使得企业能够更好地应对市场需求的变化。

第二，边缘计算在优化生产流程方面，也展现出了强

大的能力。实时监测和分析设备数据，边缘计算技术能够及时发现生产过程中的瓶颈和问题，并给出优化建议。这种能力对于提高生产线的整体效率至关重要。例如，一家食品加工企业利用边缘计算技术对生产线进行智能优化。在生产过程中，边缘设备实时监测设备的运行状态和能耗情况，一旦发现设备性能下降或能耗异常，便立即发出警报，并提供优化建议。企业根据这些建议，对生产线进行了调整和优化，提高了生产效率，还降低了能耗和维修成本。此外，边缘计算技术还能够实现生产线的智能调度和协调，确保各个生产环节之间的无缝衔接，进一步提高生产效率和产品质量。

第三，边缘计算在工业自动化中的智能生产调度与优化，还体现在对生产资源的精细化管理上。实时监测和分析生产数据，边缘计算技术能够精准掌握生产资源的利用情况，包括设备利用率、物料库存、人员配置等。这种精细化管理有助于企业优化资源配置，提高资源利用率，还能够降低生产成本，提升整体竞争力。例如，一家电子产品制造企业利用边缘计算技术对生产资源进行了精细化管理。边缘设备实时采集生产数据，并根据这些数据对生产资源进行优化配置。企业根据边缘设备的建议，对生产线进行了调整，提高了设备利用率和物料周转率，降低了生产成本和库存积压风险。这种精细化管理使得企业能够更好地应对市场变化，提升整体运营效率。

4 结束语

综上所述，边缘计算在工业自动化中的应用研究展示了其在提升生产效率、优化资源配置、实现智能调度与预测维护等方面的巨大潜力。从工业机器人控制到能源消耗监测，再到智能生产调度与优化，边缘计算的应用场景日益丰富，不断推动着工业自动化技术的革新与升级。未来，随着技术的进一步成熟与融合，边缘计算将在工业自动化领域发挥更加重要的作用，引领工业向更加智能化、高效化和绿色化的方向发展。

参考文献：

- [1] 王婷婷, 甘臣权, 张祖凡. 面向工业物联网的移动边缘计算研究综述[J]. 计算机应用与软件, 2023, 40(1): 1-10.
- [2] 刘海鹏, 周淑秋. 多接入边缘计算在智慧矿山网络中应用分析[J]. 工矿自动化, 2022, 48(3): 6.
- [3] 杨冬梅, 何国鑫, 朱金大, 等. 边缘计算在综合能源系统运行控制中的应用[J]. 华电技术, 2022(001): 044.