

5G边缘计算在工业互联网中的部署与优化

于 成

中国联合网络通信有限公司东莞市分公司 广东 东莞 523000

摘 要：随着5G技术的快速发展与广泛应用，工业互联网作为新一代信息技术与制造业深度融合的产物，正逐步向智能化、网络化、服务化方向迈进。5G边缘计算作为5G技术的关键应用之一，通过在网络边缘部署计算资源和存储能力，显著降低了数据传输延迟，提高了系统响应速度，为工业互联网的高效运行和持续优化提供了强有力的支撑。本文旨在探讨5G边缘计算在工业互联网中的部署策略与优化方法，以期为相关领域的实践提供参考。

关键词：5G边缘计算；工业互联网；部署；优化

引言

工业互联网作为推动制造业转型升级的重要力量，其核心在于实现设备、数据、人之间的全面互联与深度融合。然而，传统网络架构在应对海量数据实时处理、低时延控制等工业互联网需求时显得力不从心。5G边缘计算技术的出现，以其高带宽、低时延、广连接的特性，为工业互联网的快速发展注入了新的活力。

1 5G边缘计算技术概述

1.1 5G边缘计算的定义与特点

5G边缘计算是一种新型的计算模式，其核心在于将计算资源和存储能力部署在靠近数据源或用户端的网络边缘侧。这种部署方式使得数据能够实现就近处理和分析，从而极大地降低了数据传输的延迟，提高了系统的响应速度和服务质量^[1]。5G边缘计算的特点鲜明，主要包括低时延、高带宽、广连接以及数据安全与隐私保护等。低时延特性确保了实时性应用的高效运行；高带宽则提供了数据传输的快速通道；广连接能力使得海量设备能够顺畅接入网络；而数据安全与隐私保护机制则为用户的数据安全提供了坚实保障。这些特点共同构成了5G边缘计算的独特优势，使其在工业互联网等领域具有广泛的应用前景。

1.2 5G边缘计算在工业互联网中的作用

在工业互联网中，5G边缘计算发挥着至关重要的作用，具体来说主要体现在以下几个方面：①支持海量设备实时连接与数据交互：5G边缘计算部署在网络边缘，使得大量工业设备能够实时连接到网络，并进行高效的数据交互。这种实时连接能力对于工业监控、远程控制、设备协同等应用场景至关重要，确保了生产过程的连续性和稳定性。②实现生产过程的精细化管理和优化控制：通过5G边缘计算，可以在网络边缘侧对生产数据进行实时处理和分析，从而实现

管理和优化控制。这包括实时监测设备状态、预测设备故障、优化生产流程等，有助于提升生产效率和产品质量。③提升生产效率和产品质量：边缘侧的数据分析和智能决策能力使得生产过程中的问题能够及时发现和解决，从而减少了生产中断和次品率。同时，通过对生产数据的实时分析，可以优化生产参数和工艺流程，进一步提升生产效率和产品质量。④降低运营成本：5G边缘计算通过优化生产过程和减少设备故障，有助于降低企业的运营成本。实时监测和预测性维护可以减少设备停机时间和维修成本，而优化生产流程则可以降低物料消耗和能源浪费。⑤推动制造业转型升级：5G边缘计算作为工业互联网的关键技术之一，为制造业向智能化、网络化、服务化方向转型升级提供了强有力的支撑。它使得制造业能够更加灵活地应对市场变化，提供个性化的产品和服务，并实现更高效地生产和运营。

2 5G边缘计算在工业互联网中的部署策略

2.1 物理架构与部署位置

在工业互联网中部署5G边缘计算时，必须充分考虑工厂的实际情况，合理规划物理架构和确定最佳的部署位置。这一过程涉及多个专业领域的综合考量，以确保部署方案的科学性和可行性。首先，边缘计算节点的物理位置是关键。通常，这些节点应被部署在生产现场或尽可能靠近生产设备的网络边缘。这样的布局能够最小化数据传输的延迟，确保对生产需求的快速响应。在选择具体位置时，还需考虑工厂的网络拓扑结构，以确保边缘计算节点能够有效地与生产设备、传感器以及其他网络元素进行通信。其次，设备兼容性也是一个重要因素。5G边缘计算节点需要能够与各种工业设备无缝对接，包括传感器、执行器、控制器等^[2]。因此，在部署前，必须对工厂现有的设备进行全面的兼容性评估，必要时进行升级或更换，以确保与5G边缘计算节点的顺

畅通通信。再者，数据安全是工业互联网中不可忽视的一环。在部署5G边缘计算时，必须采取严格的安全措施来保护数据的机密性、完整性和可用性。这包括使用加密技术来保护数据传输和存储，实施访问控制策略以防止未经授权的访问，以及建立数据备份和恢复机制以应对可能的数据丢失或损坏。此外，还需考虑部署的可扩展性和灵活性。随着工业互联网的不断发展，工厂的生产需求和业务流程可能会发生变化。因此，5G边缘计算的部署方案应能够支持节点的动态添加或移除，以及计算资源和存储能力的灵活调整。

2.2 计算资源与存储能力的配置

在工业互联网中，合理配置边缘计算节点的计算资源和存储能力对于满足业务需求至关重要。这一过程需要综合考虑多个因素，以确保资源的有效利用和系统的稳定运行。首先，要根据工业互联网中的设备数量、数据类型以及处理复杂度等因素，合理估算所需的计算资源。这包括CPU的处理能力、内存的大小以及网络带宽等。例如，如果工业互联网中存在大量的高清视频流数据需要实时处理，那么就需要配置具有较高计算能力的CPU和足够大的内存来确保数据的及时处理。其次，存储资源的配置也是关键。需要考虑数据的实时性、安全性以及隐私保护等要求。对于实时性要求较高的数据，可以选择配置高速的固态硬盘（SSD）来确保数据的快速读写。同时，为了保障数据的安全性和隐私保护，还需要配置足够的安全存储措施，如加密存储、访问控制等。除了考虑当前业务需求外，还需要关注资源的可扩展性和灵活性。工业互联网的业务需求可能会随着时间和市场环境的变化而调整，因此，边缘计算节点的计算资源和存储能力也需要能够动态调整。这可以通过采用虚拟化技术、云计算技术等来实现资源的弹性扩展和收缩。在实现资源配置的过程中，还需要考虑成本效益。要在满足业务需求的前提下，尽可能降低资源配置的成本。例如，可以通过采用高效的算法和优化的数据处理流程来降低对计算资源的需求，或者通过数据压缩和去重等技术来降低对存储资源的需求。

2.3 网络连接与协议适配

在工业互联网中，5G边缘计算节点的网络连接与协议适配是确保系统高效、稳定运行的关键环节。这一环节的具体实施需要充分考虑多个方面。首先，网络连接方面，5G边缘计算节点需支持高带宽、低时延、广连接的特性。5G网络以其高带宽能力，能够满足工业互联网中海量设备间的高速数据传输需求，边缘计算节点应充分利用这一特性，确保数据能够实时、无延迟地传输至

处理中心。同时，5G网络的低时延特性也为边缘计算提供了有力支持，确保关键控制指令能够迅速传达至执行端，提高整体系统的响应速度和效率。此外，工业互联网涉及众多设备和系统，需要强大的连接能力来支撑，5G网络支持大规模设备连接，边缘计算节点应能够接入并管理这些设备，实现数据的集中处理和分发。在网络连接的过程中，还需特别关注网络的安全性和稳定性。应采用加密技术、身份验证机制等手段，保护数据在传输过程中的机密性、完整性和可用性，防止未经授权的访问和数据泄露。同时，边缘计算节点应具备故障恢复和冗余备份能力，确保在网络故障或节点失效时，系统能够迅速恢复运行，保障生产活动的连续性^[3]。其次，在协议适配方面，工业互联网中涉及多种工业协议和数据格式，如Modbus、Profibus、OPC UA等。边缘计算节点需具备强大的协议适配能力，能够识别、解析和转换这些协议，实现与各类工业设备和系统的无缝对接。为了实现这一目标，边缘计算节点应内置协议转换引擎，该引擎能够自动识别接入设备的协议类型，并将其转换为统一的内部处理格式，便于数据的集中处理和分发。最后，在协议适配过程中，还需关注数据的标准化问题。通过制定统一的数据格式和标准接口，可以降低数据处理的复杂度和成本，提高系统的可维护性和可扩展性。这将有助于实现工业互联网的高效、稳定运行和发展。

3 5G边缘计算在工业互联网中的优化方法

3.1 任务调度与负载均衡

在工业互联网中，面对海量设备的实时数据处理需求，设计高效的调度算法和负载均衡策略是至关重要的。这旨在通过合理分配计算资源和存储能力，确保各边缘计算节点能够高效协同工作，从而提高整体系统的处理能力和响应速度。任务调度算法的设计需考虑多个因素，包括任务的优先级、所需处理时间、数据量以及各边缘计算节点的当前负载情况。一种有效的方法是采用基于优先级的任务调度算法，将高优先级任务优先分配给空闲或负载较低的节点，以确保关键任务的及时处理。同时，还可以结合预测模型，预估各任务的处理时间和资源需求，从而更精准地进行任务分配。负载均衡策略的制定则需关注各边缘计算节点的资源使用情况和处理能力。通过实时监测节点的CPU使用率、内存占用、网络带宽等关键指标，可以动态调整任务分配，避免某些节点过载而其他节点空闲的情况。此外，还可以采用分布式负载均衡机制，将任务请求均匀分配到多个节点上，实现资源的最大化利用。为了实现任务调度和负载均衡的高效协同，还需建立有效的通信机制和数据

共享平台。各边缘计算节点需定期交换状态信息，以便实时了解整个系统的资源使用情况和任务分布情况。同时，通过共享数据和处理结果，可以减少不必要的重复计算和数据传输，进一步提高系统的整体效率。

3.2 数据处理与智能分析

在工业互联网的边缘侧部署智能分析算法和模型，旨在实现对实时采集的数据进行快速处理和分析，进而提取出有价值的信息和规律。这一过程对于实现生产过程的精细化管理和优化控制至关重要，有助于提高生产效率和产品质量。具体而言，边缘侧的数据处理涉及多个环节。首先，需要对实时采集的数据进行预处理，包括数据清洗、去噪、归一化等步骤，以确保数据的准确性和一致性。接着，利用部署在边缘侧的智能分析算法和模型，对数据进行深入挖掘和分析，提取出隐藏在数据背后的有价值信息和规律。这些智能分析算法和模型可能包括机器学习算法、深度学习模型、统计分析方法等，它们能够根据历史数据和实时数据，预测生产过程中的趋势和异常，为决策提供支持。例如，通过机器学习算法对生产设备的运行数据进行分析，可以预测设备的故障发生时间和原因，从而提前进行维护和修复，避免生产中断。边缘侧的智能决策支持是实现生产过程精细化管理和优化控制的关键^[4]。基于实时数据处理和分析的结果，可以生成相应的控制指令和优化建议，并直接反馈给生产设备或操作人员。这样，生产过程可以根据实时数据进行动态调整和优化，提高生产效率和产品质量。

3.3 安全防护与隐私保护

在工业互联网环境中，针对数据安全与隐私保护的迫切需求，必须设计并实施一套完善的安全防护机制和隐私保护策略。这要求我们在多个层面进行细致入微地考虑和部署。首先，数据传输过程中的安全性是核心关注点。为确保数据在传输过程中不被窃取或篡改，应采用先进的加密技术，如TLS/SSL协议，对传输的数据进行加密保护。这样，即使数据在传输过程中被截获，也

无法被未授权的第三方解读。其次，访问控制是防止数据泄露的关键环节。通过实施严格的访问控制策略，如基于角色的访问控制（RBAC）或基于属性的访问控制（ABAC），可以确保只有具备相应权限的用户或系统才能访问敏感数据。这大大降低了数据被非法访问的风险。数据隔离也是保护隐私的重要手段。在工业互联网中，不同部门或业务的数据应相互隔离，以防止数据之间的非法访问和共享。通过实施数据隔离策略，可以确保敏感数据在存储和处理过程中不被其他未授权的数据所污染。除了上述技术手段外，建立健全的安全管理体系和应急响应机制也是必不可少的。这包括制定详细的安全政策、定期进行安全审计和漏洞扫描，以及培训员工增强安全意识等。同时，应建立应急响应团队，制定详尽的应急预案，以便在发生安全事件时能够迅速响应并降低损失。

结语

5G边缘计算在工业互联网中的部署与优化研究，对于推动制造业转型升级、提高生产效率和质量具有重要意义。未来，随着5G技术的不断成熟和工业互联网的深入发展，5G边缘计算将在更多领域得到广泛应用和推广。同时，需进一步关注技术的创新与发展趋势，加强跨领域合作与交流，共同推动工业互联网的健康发展。

参考文献

- [1]王铖,路骁虎,王佳馨.5G+边缘计算技术在工业互联网云边协同场景中的部署[J].通信企业管理,2024,(02):60-62.
- [2]李建华.5G边缘计算在工业互联网中的应用模式初探[J].工业控制计算机,2022,35(12):141-143.
- [3]徐千淞,颜晖,田诗韵,等.5G工业互联网的边缘计算技术应用[J].长江信息通信,2021,34(12):43-45.
- [4]刘图楠.5G工业互联网的边缘计算技术架构与应用分析[J].长江信息通信,2021,34(04):44-45+53.