

课题编号：2022YFC3801102

密级：公开

国家重点研发计划项目

“建筑与市政公用设施智慧运维理论与方法”

课题二

“建筑与市政公用设施智慧运维性态全系快速
感知与多源异构数据融合”

专题二

“面向多源运维数据的分布式边缘计算体系与
网联架构”

开题报告

承担单位：清华大学深圳国际研究生

专题负责人：任政儒

二零二三年一月

目录

1 前沿	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 边缘计算模式的提出	错误！未定义书签。
1.2 目标和意义	5
1.2.2 边缘计算与云计算模式的比较	2
2 国内外研究综述	1
2.1 文献检索概述	5
2.2 相关研究综述	6
2.3 综述小结	9
3 研究内容与创新点	9
3.1 研究内容	9
3.2 拟解决的关键科学和技术问题	10
3.3 创新点	10
4 研究方法与技术路线	10
4.1 研究方法	11
4.2 技术路线	11
5 基础研究与研发进展	13
5.1 基础研究	13
5.2 研究团队	14
5.3 研究进展（若有）	14
6 考核指标与工作计划	14
7 参考文献	16

1 前沿

1.1 研究背景

随着物联网和传感器技术的发展，对建筑物运维可以获取更多信息。为整合大量数据，传感器、物联网设备和运维应用收集异构数据大量信息，移动端、IoT等大量数据将被上传至云端进行处理。云计算技术应运而生，到2019年为止，已经有45%的物联网数据在网络边缘进行存储、分析和处理^[1]。图 1 展示了云计算模式的架构，用户向云端发送数据请求，云端计算中心产生数据并将结果返回给用户。针对“多源多门”的运维数据，需要采用一种适合的体系来构建数据的收集、存储、处理和分析的解决方案。建筑与市政公用设施运维过程中需要监测和管理大量的设备和环境数据，这些数据包括能耗、温度、湿度、空气质量等，这些数据通常来自于多个不同的传感器和系统。

在传统的集中式监测管理系统中，这些数据需要通过高带宽的网络传输到中央服务器进行处理和分析，会导致过多的网络带宽和计算资源消耗。建筑与市政公用设施运维数据规模庞大，对响应时间的要求极高，使网络产生沉重负载，导致不必要的带宽和计算资源的占用及浪费。云计算模式的无线通信模块耗能较高，无法适应大规模市政公用设施的节能需求。此外，运维数据较高的隐私保护要求也使得云计算模式并不适用。因此，为了优化和解决上述问题，需要将计算任务下沉到边缘服务器，在数据源附近进行计算，即采用边缘计算。

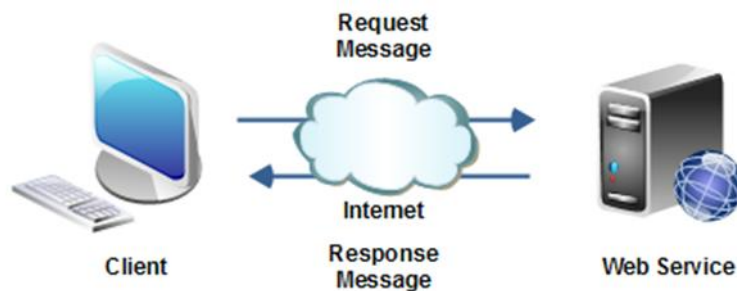


图 1 云计算模式

边缘计算是在云端协作中的一种新型计算模式，可以充分调度附近的物联网（IoT）设备资源，可以与云服务器进行协同计算，并显著降低数据传输延迟和网络宽带负载。它的基本原理是计算应该发生在数据源的附近，是一种允许在网络边缘执行计算的使能技术，“边缘”可定义为数据源至云数据中心路径上任何的网络资

源及计算资源，例如智能家居网关是家居设施与云之间的边缘^[2]。通过在网络边缘部署计算资源，将部分计算任务推进到边缘设备进行处理，减少对中央服务器的压力，提高系统的响应速度和可靠性。图 2 展示了一种边缘计算模式，说明了边缘计算中的双向计算流，即边缘既可以向云端请求服务和内容，同时也可以执行云计算的任务，同时可以执行计算卸载、数据存储、处理以及将数据分发到用户等一系列操作。边缘计算的模式可以很好地满足市政运维中对隐私保护、可靠性及安全性的要求。

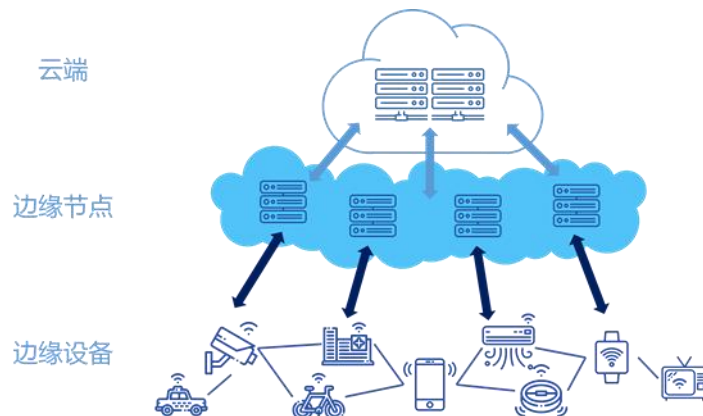


图 2 边缘计算模式

（图源：<https://www.alibabacloud.com/zh/knowledge/>）

基于分布式边缘计算体系的智能网联架构是一种有效的解决建筑与市政公用设施运维过程中面临的挑战的方法。它可以提高系统的效率和可靠性，实现对运维数据的实时监测和处理，并且可以有效地解决安全性和隐私保护问题。相关研究背景包括物联网技术、边缘计算、分布式系统、网络安全等领域。随着数字化建筑和智慧城市的发展，基于分布式边缘计算体系的智能网联架构将在建筑与市政公用设施运维领域具有重要的应用前景。

1.1.1 边缘计算的优势

与云计算相比，边缘计算具有更低的延迟、支持全局感知计算、增强移动应用隐私和安全性等优势^[3]。首先，它能有效提高系统的可用性，使用户可以根据不同的应用场景和位置，实时地访问和处理数据。此外，边缘计算还有效地减少了带宽和存储成本，因为它使人们可以在边缘设备中部署数据分析和应用，而不需要将大量数据传输到云端处理。此外，边缘计算还能够提供更快的速度和更加精准的结果，

这样使得系统能够更灵活地应对变化。边缘处理的优势在于可以将数据处理和计算任务可以分布在多个节点上，这样可以加快处理速度，减少机器资源占用，减少数据传输时间，分散了处理和计算任务，以及改善了安全性，保护数据免受恶意攻击。而且，数据处理发生在边缘设备上，可以极大程度减少数据中转量，从而提高数据处理和传输的效率。

边缘计算与云计算的显著差异比较如表 1所示。

表 1 边缘计算与云计算模式的比较

	边缘计算	云计算
服务器硬件	小规模数据中心，拥有中等资源	大规模数据中心（有大量高性能服务器）
服务器位置	与无线网关共存	在专门的建筑物内
部署	运营商、边缘计算厂商、企业和家庭用户密集部署（轻量级配置及规划）	IT 部署公司如谷歌、亚马逊等（需要复杂的配置和规划）
与终端距离	近（几十到几百米）	远（可能跨越大陆）
回程频率	不频繁使用（缓解堵塞）	频繁使用
系统管理	分层控制（集中/分布式）	集中式控制
延迟	小于几十毫秒	超过一百毫秒
支持应用	延迟要求高、计算密集的应用，如 AR、自动驾驶、在线互动游戏等	耐延迟和计算密集型应用、如在线社交网络、移动商务等

①低延迟

移动服务的延迟指的是传输、计算和通信时间三个指标的聚合，分别取决于传输距离、计算能力以及通信速率。在密集型蜂窝网络中，边缘计算模式的典型传输距离为几十米，而云计算模式需要将数据从用户端到数据中心，需要跨越数十公里甚至一个大陆的距离。这就使得边缘计算的延迟相对云计算来说短得多。并且，云计算中的数据传输需要经过无线网络及回程网络等，在路由和其他网络控制中可能产生过度延迟，而边缘计算不存在这些问题。

②低能耗

在物联网的设计应用中，为数百亿物联网设备供电是其中一个关键的问题，而在边缘计算模式下，密集型计算任务可以从物联网设备卸载到边缘服务器，显著降低其能耗从而延长物联网设备的电池寿命。有研究人员^[4]构建了一个验证平台来运行人脸识别应用程序，将计算任务从云端移动到边缘服务器，响应时间从900ms减少到169ms，除此之外，耗能也降低了30%~40%。

③环境感知能力

边缘服务器能够利用边缘设备与终端用户之间的距离来实时追踪用户的位置和环境等实时信息。基于这种信息推断向用户推送全局感知服务。如对于在博物馆的AR应用中[5]，可以根据用户在博物馆中的位置来为用户推荐他们感兴趣的古董或艺术品。

1.1.2 新型边缘计算节点架构

在边缘计算领域中，新型边缘计算节点架构的研究是一个重要的方向。现有边缘计算节点架构存在一些不足，例如硬件资源有限、能耗高、网络连接缺乏等。新型边缘计算节点架构研究的目的是设计出一种具有高效性、低能耗、高可靠性和高扩展性的边缘计算节点架构。通过对新型边缘计算节点架构研究，提高系统的效率和可靠性，并且可以有效地解决边缘计算领域中存在的问题。新型边缘计算节点架构研究具有重要的应用前景，在物联网、智能城市、工业互联网等领域都将有着广泛的应用。

新型边缘计算节点架构研究可以通过设计新型硬件平台，如基于FPGA或者ASIC的硬件平台，来提高系统的性能和能效。同时，通过设计新型系统软件，如基于虚拟化或容器技术的软件平台，可以实现系统的资源共享和动态调度。此外，新型边缘计算节点架构研究还可以通过研究网络架构和协议，如网络分层和网络虚拟化等，来提高系统的网络连通性和安全性。

通过对新型边缘计算节点架构研究能够提高系统的性能和可靠性，并且可以有效地解决边缘计算领域中存在的问题。新型边缘计算节点架构研究将为物联网、智能城市、工业互联网等领域提供新的技术支持，实现更高效、更可靠的运维管理。

1.1.3 资源配置优化模型和自适应网络动态调度方法

边缘计算技术的发展使得大量的设备和传感器能够连接到互联网上，并且能够采集和上传大量的数据。然而，由于边缘计算节点的资源配置和网络动态调度不当，可能会导致系统的资源浪费和性能下降。因此，边缘计算资源配置优化模型和自适应网络动态调度方法研究应运而生。

边缘计算资源配置优化模型研究的目的是设计出一种有效的资源配置方法，使得边缘计算节点的资源得到最优配置。通过优化资源配置，可以有效地提高系统的性能和可靠性。网络动态调度方法研究的目的是设计出一种能够自适应地调整网络资源的方法。通过自适应网络动态调度，可以提高系统的网络连通性和安全性，并

且可以有效地应对网络环境的变化和负载增长。

边缘计算资源配置优化模型和自适应网络动态调度方法研究可以通过建立数学模型来描述系统资源配置和网络动态调度问题，并使用优化算法来求解这些模型。例如，可以使用贪心算法、遗传算法、蚁群算法等来优化资源配置和网络动态调度。此外，边缘计算资源配置优化模型和自适应网络动态调度方法研究还可以结合机器学习和人工智能技术，如深度学习和自适应神经网络等，来提高系统的自适应能力。

1.2 目标和意义

本课题针对建筑与市政公用设施的“端边云”计算体系和网联架构，聚焦面向多源运维数据的资源配置优化模型和自适应动态网络动态调度方法，旨在优化分布式采集-存储-计算系统的协同工作能力，降低智慧运维过程中大规模数据的端-边延迟。运用具有高容错性和伸缩性的分布式部署，发挥智能网络连接所需要边缘计算能力，实现运维数据的快速获取，降低网络负载，缩短响应时长，实现安全、高效、近实时的协同计算服务协议，并为其他子课题提供数据支撑。提升服务的质量。

通过科学合理的智慧运维，延长基础设施生命周期，降低能源消耗和运维成本，推动管理模式及产业升级，缓解城市资源压力，防灾减灾，保障人民群众生命和财产安全。通过研发数据资源支撑服务系统，为城市基础设施智慧运维系统提供基础支撑，可以显著降低设施运维成本。目前我国建筑行业运维市场前景广阔，通过智慧运维模型，形成新的高科技产业和市场经济增长点，推动传统行业升级，产生显著的经济效益。

此外，本项目也将为我国建筑与市政设施智慧化运维提供技术支撑。本课题的实施将助力智慧运维基础理论研究，提升智慧化运维水平。在社会层面，提升建筑与市政设施服务能力，有助于缓解城市压力，防灾减灾，保护人民群众的生命财产安全；在生态层面，减少不必要的资源浪费，延长基础设施生命周期，降低能源消耗，保障生态环境的可持续发展。

2 国内外研究综述

1.1 文献检索概述

近年来，国内外学者基于分布式边缘计算体系的理论框架，针对多源运维数据网联架构，就其异构网络、信息可用性和解决方案等方面开展了大量研究。针对如精准定位、可信认证、网络拓扑设计和数据隐私保护等应用情景，提出多种解决方

案，结合物联网协议、大数据分析等技术，实现满足不同场景需求的多源运维数据采集、处理和分析。

1.2 相关研究综述

1.2.1 调度机制

为了解决在边缘节点和云端之间的计算资源分配问题，众多学者进行了相关研究，主要方法可分为两类。第一类是根据全局信息做出调度决策^[8]，可以达到更佳的总体吞吐量，但系统隐私和安全性上的隐患较大。第二类是将调度的决策权交给边缘服务器甚至是终端设备，使其根据本地信息来确定满足自身需求的最佳资源分配策略，此类方法能够很好地减轻中央服务器的负担，并且在响应时间指标上的表现也十分优秀，但整个系统的效率往往比较低。

在多服务器多设备的计算场景下，Goudarzi^[9]提出了一个以最小化执行时间和能耗的加权成本模型，如图 3 所示，并给出一种基于Memetic算法的轻量级的预调度算法，以最大化并行任务并执行放置决策。该技术显著降低了边缘计算中的加权成本，最高可达65%。Yu^[10]提出虚拟机迁移算法来平衡边缘服务器负载，其关注的主要指标是资源的利用率、吞吐量的大小以及最佳响应时间。该算法与采用负载动态配置的方案相比，该实时VM迁移算法能将响应时间缩短近11%。

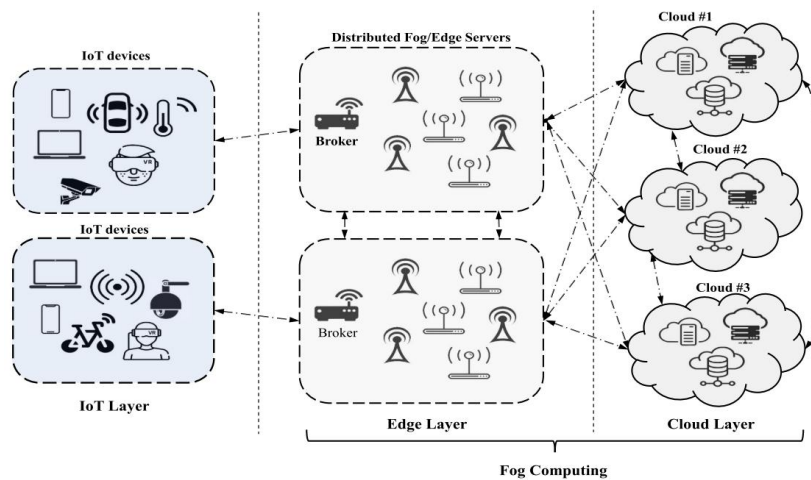


图 3 最小能耗和时间加权成本模型

结合智能元启发算法，Huang^[11]提出了一个基于深度强化学习的在线卸载（DROO）框架如图 4 所示，用来降低在大规模网络中的计算复杂度并自适应地调整算法参数，从而最佳地适应任务卸载决策。该在线算法能够在信道相干时间内快速求解困难的组合优化问题，在获取最优性能策略的同时，甚至在计算时间上还减

少了一个数量级并可适应快速衰减的环境。

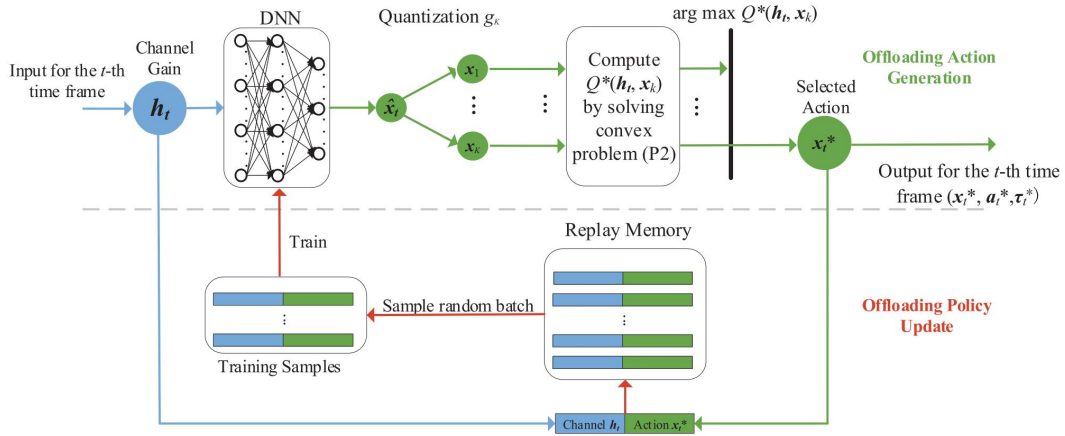


图 4 DROO算法的原理图

从全局信息调度决策出发，Cai^[12]提出了一种基于深度强化学习（DRL）的多用户多任务混合型计算分流模型如图 5所示，如为多个密集型计算任务全局性地做出计算卸载决策，将计算任务分流到边缘服务器及相邻的设备上。该分流模型采用递归神经网络提取任务和网络状态的特征信息，减少系统在长期运行中的延迟。

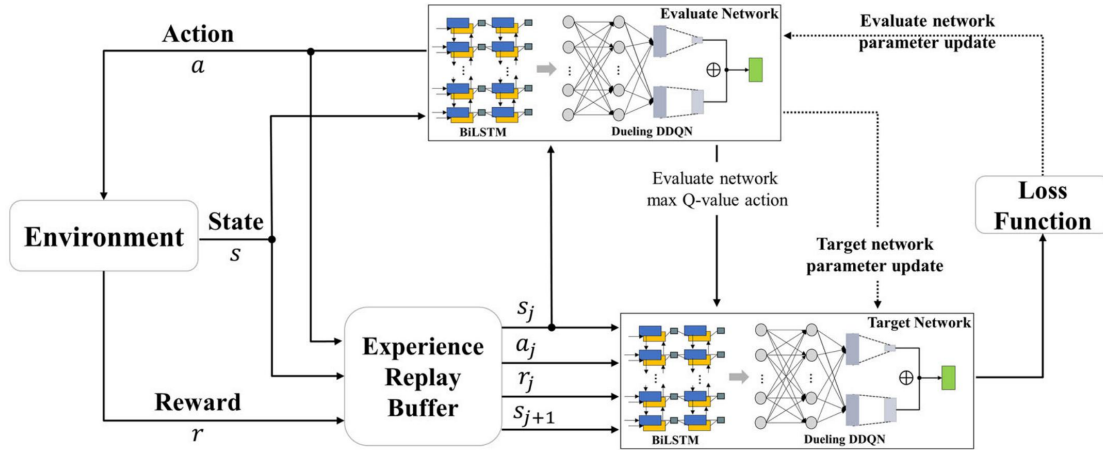


图 5 基于DRL的多用户多任务混合型计算分流模型

同样从全局角度出发，Huang^[13]将边缘计算中联合接收控制问题及资源分配问题抽象为一个随机优化问题。该随机优化问题的目标是最大化系统效用，同时考虑了吞吐量以及公平性，对队列进行限制。提出了一种接收控制和计算资源分配算法（ACCRA）分布式求解其解耦的三个独立子问题，能够实现在效用和队列长度之间的任意折中。Zhu^[14]提出基于并行联邦强化学习的资源分配方法，该方法既具有联邦学习的隐私保护能力，同时也有强化学习对复杂问题强大的求解能力。在全局策略上以联合决策的形式增强了资源分配的并发性，并且在完成速度、整体系统效

能以及资源利用率等方面相比传统方式都有较大的提升。

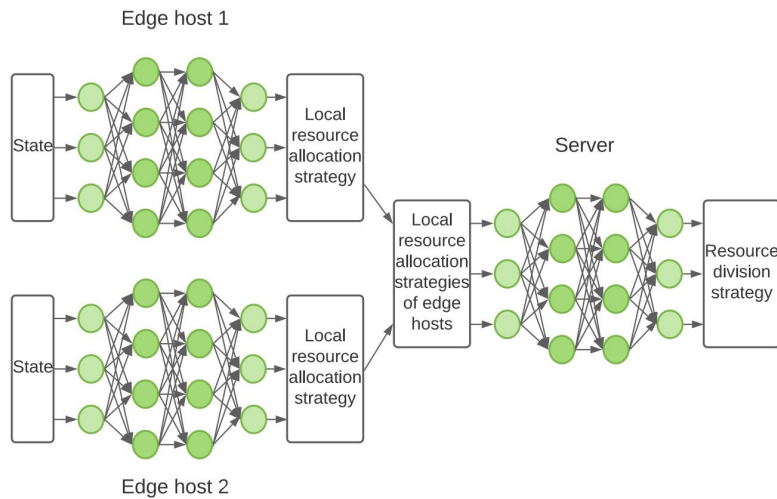


图 6 基于并行联邦强化学习的资源分配框架

在边缘计算中的计算任务调度机制研究中，大多都以最低能耗、延迟或同时以两者为优化目标进行求解。由于计算复杂性，大多数研究者倾向于使用改进的启发式算法或智能优化算法来代替数学规划算法得到接近最优解高精度解。

1.2.2 可编程性问题

①问题产生机理

在云计算模式中，由于程序只在云端运行，只需要采用一种编程语言进行编写，针对目标应用程序进行编译，并且其基础架构对用户是透明的。

然而在边缘计算模式下进行计算卸载的过程中，边缘节点有可能是异构平台^[6]，节点间的运行状态也各不相同，因此对编写一个部署在边缘计算模式下的应用程序带来了极大的困难。

②计算流

为了解决可编程性的问题，计算流的概念被提出来。计算流是沿着数据传输路径方向上对数据进行处理计算的一系列计算函数，一旦应用程序定义了相关计算函数，那么这些计算函数可以是该应用程序的全部或任意部分，并且计算可以在该传输路径上的任意地方进行。

计算流可以使得在边缘节点和云端的计算采用分布式或更高效的方式进行计算处理，并且帮助用户确定计算函数应该完成什么功能、计算任务完成后以何种方式进行从边缘传输回用户端。通过部署计算流使计算尽可能靠近数据源，从而降低计算和数据传输的成本。在计算流中，计算函数可以被重新分配，同时数据和状态也

被一并重新分配。

1.2.3 资源分配问题

①资源合理分配调度的必要性

在边缘计算模式中，虽然边缘设备能够将计算任务卸载到边缘服务器，充分发挥边缘服务器在计算和存储方面的优势，使得计算任务变得更加高效，但由于物联网设备的无限制增长，越来越多的终端设备需要将计算分流到边缘服务器，而边缘服务器的资源又有限的，倘若所有的服务器都被卸载到边缘服务器则可能导致边缘服务器过载且云中心资源未被充分利用，反而造成计算任务的高延迟和高能耗^[7]。因此，根据计算任务特性、优化目标以及系统状态研究出一种边缘服务器、云端以及边缘设备之间的协同调度机制是十分必要的。

1.3 综述小结

包括多源运维数据网联架构的理论框架、特点、相关技术支撑以及不同场景下的解决方案，如精准定位、可信认证、网络拓扑设计和数据隐私保护，以及物联网协议、大数据分析等。

2 研究内容与创新点

2.1 研究内容

为实现多源数据的快速传输和处理，提升运维效率、增强隐私保护安全性，本课题旨在研究一种可扩展性强、性能可靠的分布式边缘计算框架。针对道路、桥梁、隧道、交通枢纽和超高层建筑等五类典型建筑与市政公用设施，面向智慧运维需求，研发新型边缘智能体和边缘节点架构，研究资源配置优化模型和自适应网络动态调度方法，搭建基于分布式边缘计算与网联架构的“云边端”快速大容量数据传输新技术。具体包括：

（1）研发新型边缘智能体和边缘节点架构

深入分析运维数据的特征及其数据感知和获取的技术方案，研究连接核心云和终端间链路上的新型边缘智能体性能优化技术，提升边缘硬件设备的存储和计算能力；优化数据传输路径与传输方式，建立一套新型的边缘节点架构，实现“云边端”协同框架下端部节点资源的高效管理利用。

（2）研究资源配置优化模型和自适应网络动态调度方法

研究设备资源状态感知技术、网联架构内各节点以及节点间路径的资源优化分配机制，建立用户侧和边缘侧网络“传输-计算-存储”资源配置优化模型，提出自适应边缘计算体系的网络动态调度方法。

(3) 搭建基于分布式边缘计算体系的智能网联架构

基于分布式系统与边缘计算理论，结合上述新型边缘计算节点架构、资源配置优化和网络动态调度方法，研究“云边端”各层级节点逻辑关联关系和动态智能组网技术，搭建小于0.1s的近实时网联架构。建立高效、安全、实时的协同计算服务协议，实现面向运维场景的整体网联速度的巨大提升。

2.2 拟解决的关键科学和技术问题

为完成以上研究内容，需要解决以下关键科学和技术问题：

科学问题1：“云边端”架构体系中多源信息的量化建模方法和复杂离散拓补系统的多目标动态调度机制；

科学问题2：适应运维数据时变传输、存储、计算需求的自适应动态组网机制；

技术问题3：适用于建筑与市政公用设施的分布式高性能传输-存储-计算网联架构方案和仿真方式；

2.3 创新点

本课题聚焦典型建筑与市政公用设施运维情境，研究利用边缘计算体系和网联架构的多源运维数据的实时收集、传输、储存、建模和分析方法，提出多源数据感知-存储-计算量化离散事件模型和动态调度策略。针对节点拥堵和故障，研究需求驱动的自适应动态组网策略。

实现对大规模多源运维数据的近实时处理，解决运维数据中的有效信息的可靠提取问题，以期提高运维数据利用效率。此外，创新点还包括采用基于人工智能的边缘计算处理技术实现智能化数据收集，实现对网络安全的智能检测，以及实现运维数据存储的可管理性和安全性。

3 研究方法与技术路线

3.1 研究方法

采用分布式边缘计算技术，搭建多源运维数据的分布式边缘计算体系，实现 share-nothing 原则，分布式边缘计算体系中的计算单元采用微服务架构，从而实现多源运维数据的快速采集、分析、处理和存储等业务。针对多源运维数据网联架构，应用物联网协议技术，实现运维数据在不同设备之间的有序交换。此外，采用大数据分析技术，进行集中式的数据统计分析，形成运维数据的整体性智能报告，为管理者提供决策支持。

3.2 技术路线

包括边缘计算技术、大数据分析和模型训练、高安全性网联通信以及嵌入式 AI 等多个维度，以实现多源数据的快速传输和处理、运维效率的提升以及更好的安全和隐私保护等。

（1）传感量化和基于离散事件的量化架构模型建立

调研道路、桥梁、隧道、交通枢纽和超高层建筑等五类典型建筑与市政公用设施的运维数据采集模式和分析方法。收集智慧运维监测感知的核心硬件参数与资源利用数据，包括：传感器数量和分布、采样特性、数据特征和结构、网络传输距离等信息。调研常规建筑物健康监测算法，总结其存储-计算复杂度。

根据实验测试数据和收集到的资料，建立关于多源数据核心特征的量化传输-存储资源消耗模型。基于运行算法的核心特征（数据量、计算时长、算法种类等），通过非线性拟合方法，建立考虑算法复杂度和数据量的计算资源占用预估模型。

针对不同网络架构，通过离散时间网络仿真工具（例如 NS-3 和 OMNet++）构建可快速生成的“端边云”三级网络拓补仿真模型，可模拟终端数据整备，数据传输排队、拥堵、丢失，边端和云端存储和算法执行等网络节点关键过程。将仿真模型中的负载，区分常态化保障数据和突发性随机数据。此外，还应建立满足节点故障等非连续突发过程的仿真模块。

（2）端边云多层次节点间资源动态调度

针对特定低复杂度建筑，网络中节点数量较少，可采用传统优化方式进行资源调度。针对数据传输和计算资源等核心资源，根据设定的量化传输、存储和计算资源消耗问题，建立多节点量化目标函数。针对各级节点，考虑其硬件特性，建立多重约束条件。采用多学科优化方法求解以上优化问题，初步实现资源动态的调度优化。调整参数系数和优化方程构造方式，提高计算速度和精度。根据仿真结果，总

结网络复杂度对求解时长的影响趋势，分析得出低复杂度和高复杂度网络架构的临界点。

针对复杂端边云网络体系，优化方式求解时间过长，可采用强化学习方法进行求解，以期实现更快的在线运行速度。选取网络架构节点间连通情况作为强化学习输入参数，选取特定时长仿真结果内处理的数据总量最大化和失败数据最小化作为训练目标，通过不断调整深度神经网络模型的参数和深度，实现资源动态调度的求解。利用随机生成的情景，测试训练结果的准确性和可靠性。

（3）自适应动态组网

针对多建筑集群组成的大尺度复杂分布式架构问题，建立大规模逻辑拓补网络的数学模型，明确硬件组成对拓补网络中节点和边的数学表征。对实际应用进行拓展，基于状态估计技术实现节点的状态估计，自适应的调整网络的结构，使网络拓补能够有效实现动态变化，通过贝叶斯推理实现自动无线组网，并采用反馈控制实现故障快速恢复，以及拓补网络性能的可控制优化。

自适应动态组网技术可以很好地为复杂分布式架构中的多建筑集群提供一种高效的逻辑拓补网络化管理方案。该技术不仅限于对当前网络拓补中的节点和边进行明确的数学表征，同时也可以引入新的方法来进行节点的新增和删除，使得整个网络结构变得更加灵活。在大规模复杂分布式架构中，可以采用贝叶斯的统计模型，对节点和边之间的统计关系进行计算，实现动态拓补网络的建立和调整。由于节点和边之间正在进行状态估计，因此网络能够根据无线传感器网络的动态变化迅速作出相应的反应，从而有效地避免因复杂环境中硬件设施故障而导致网络失效的情况。同时，大规模复杂分布式架构中的拓补网络也可以采用反馈控制的方式实现快速恢复和性能优化，有效提升整个网络的可靠性和可用性。

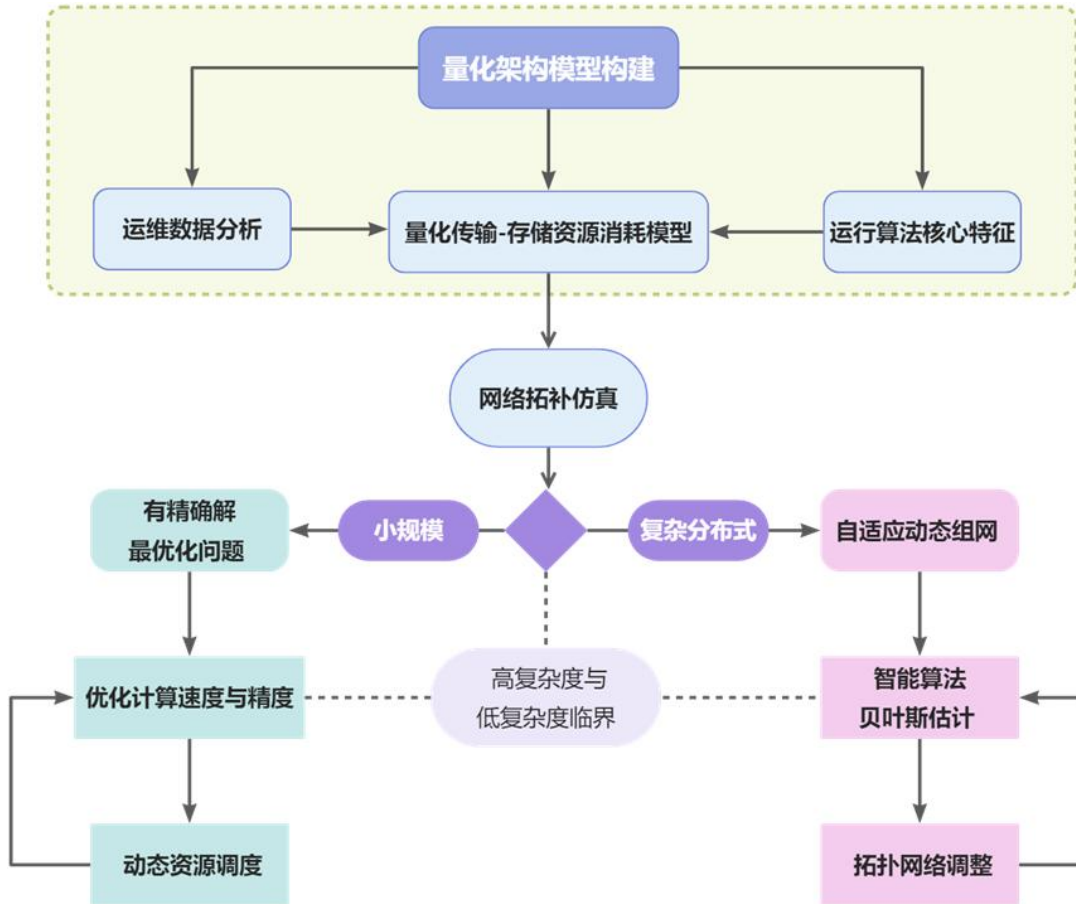


图 6 技术路线示意图

4 基础研究与研发进展

4.1 研究基础

专题负责人近年来聚焦结构物安装运维研究，致力于面向海上风电等大型结构物的智能安装和运维领域创新，取得多项创新性研究成果，获2021年国家自然科学基金优秀青年科学基金(海外)项目资助。共发表学术论文47篇，其中SCI收录论文27篇（含一作/通讯14篇，一作/通讯顶级期刊7篇，一作ESI热点文章1篇，一作ESI高被引期刊4篇），EI收录14篇，影响因子总计超过100。文章总引用次数647次，H因子14（Google Scholar统计，2022年11月27日数据）。已授权发明专利13项，其中第一发明人7项。专题负责人长期从事传感器融合和优化控制领域研究，对智慧运维和调度规划过程中传感器的科学问题和工程问题有深入的认识和了解，在理论上和技术上已经做好充分的准备，有信心出色地完成本课题的任务。

4.2 研究团队

研究团队负责人为清华大学深圳国际研究生院海洋工程研究院助理教授任政儒，团队具有硕士生5人，博士生2人。

4.3 研究进展（若有）

5 考核指标与工作计划

5.1 考核指标

5.1.1 新型边缘智能体性能优化与节点架构技术

①中期指标

建立高效云边端架构，覆盖不少于2类典型建筑与市政公用设施
工作计划如下：

- 1、调研多源运维数据场景，分析其特征和特性；
- 2、构建不同场景的数据传输、处理和异构模型；
- 3、设计边缘计算体系结构与网联架构；
- 4、研发安全性、隐私性、性能和可扩展性技术；
- 5、进行系统集成，对整个体系进行验证。

②完成时指标

构建云边端架构覆盖体系，覆盖不少于5类典型建筑与市政公用设施。

5.1.2 资源配置优化模型和自适应网络动态调度方法

①中期指标

- a)用户侧和边缘侧网络“传输-计算-存储”资源配置优化模型；
- b)自适应边缘计算体系的网络动态调度方法。

②完成时指标

- a)高效、安全、近实时的协同计算服务协议；
- b)“端-边”平均通信延时小于0.1s

5.1.3 基于分布式边缘计算体系的智能网联架构

①中期指标

动态智能组网技术方案

②完成时指标

相比传统云性能提升计算架构，实现3种以上关键指标（时延、宽带占用、存储占用等）的性能提升不少于20%

6 参考文献

- [1] SHI W, CAO J, ZHANG Q, et al. Edge computing: vision and challenges[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3(5): 637–646. DOI:10.1109/JIOT.2016.2579198.
- [2] 赵小琦. MEC 中边缘缓存节点选择系统的设计与实现 -中国知网[EB/OL] [2022–12–27].
- [3] MAO Y, YOU C, ZHANG J, et al. A survey on mobile edge computing: the communication perspective[J]. Ieee Communications Surveys and Tutorials, 2017, 19(4): 2322–2358. DOI:10.1109/COMST.2017.2745201.
- [4] YI S, HAO Z, QIN Z, et al. Fog computing: platform and applications[J]. [no date]. .
- [5] LUO X. From augmented reality to augmented computing: a look at cloud-mobile convergence[C]//2009 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality. . DOI:10.1109/ISUVR.2009.13.
- [6] 李梦菲, 毛莺池, 屠子健, 等. 基于深度确定性策略梯度的服务器可靠性任务卸载策略[J]. 计算机科学, 2022, 49(07): 271–279.
- [7] CHEN S, LI Q, ZHOU M, et al. Recent advances in collaborative scheduling of computing tasks in an edge computing paradigm[J]. 2021: 22. .
- [8] CHEN Y, GU W, LI K. Dynamic task offloading for internet of things in mobile edge computing via deep reinforcement learning[J]. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMMUNICATION SYSTEMS, [no date]. DOI:10.1002/dac.5154.
- [9] GOUDARZI M, WU H, PALANISWAMI M, et al. An application placement technique for concurrent iot applications in edge and fog computing environments[J]. IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, 2021, 20(4): 1298–1311. DOI:10.1109/TMC.2020.2967041.
- [10] YU K, TAN L, YANG C, et al. A blockchain-based shamir’s threshold cryptography scheme for data protection in industrial internet of things settings[J]. IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, 2022, 9(11): 8154–8167. DOI:10.1109/JIOT.2021.3125190.
- [11] HUANG L, BI S, ZHANG Y-J A. Deep reinforcement learning for online computation offloading in wireless powered mobile-edge computing networks[J]. IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, 2020, 19(11): 2581–2593. DOI:10.1109/TMC.2019.2928811.

- [12] CAI J, FU H, LIU Y. Deep reinforcement learning-based multitask hybrid computing offloading for multiaccess edge computing[J]. INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT SYSTEMS, 2022, 37(9): 6221–6243. DOI:10.1002/int.22841.
- [13] HUANG J, LV B, WU Y, et al. Dynamic admission control and resource allocation for mobile edge computing enabled small cell network[J]. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, 2022, 71(2): 1964–1973. DOI:10.1109/TVT.2021.3133696.
- [14] TIANQING ZHU, ZHOU W, YE D, et al. Resource allocation in iot edge computing via concurrent federated reinforcement learning[J]. IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, 2022, 9(2): 1414–1426. DOI:10.1109/JIOT.2021.3086910.