

ICS 25.040
CCS N 10

T/CAMETA
中国机电一体化技术应用协会团体标准

T/CAMETA xxxxxx—2025

云边端协同机制测试与评价

Testing and Evaluation of Cloud-Edge-End Collaborative Mechanism

(征求意见稿)

2025 — xx— xx 发布

2025 — xx — xx 实施

中国机电一体化技术应用协会 发 布

目 次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 系统架构与测试基础要求	3
4.1 协同层级模型	3
4.2 测试环境构成	4
4.3 基础资源能力要求（通信/计算/存储）	4
5 协同功能测试方法	4
5.1 任务协同测试	4
5.2 数据协同测试	5
5.3 服务协同测试	7
6 性能测试方法	8
6.1 协同时延测试	8
6.2 资源调度效率	8
6.3 高并发处理能力	9
6.4 极端场景稳定性	9
7 评价指标体系	10
7.1 功能性评价指标	10
7.2 性能评价指标	11
7.3 可靠性评价指标	11
7.4 安全性评价指标	12
8 评价实施规范	12
8.1 测试数据采集要求	12
8.2 指标权重分配原则	13
8.3 综合评价等级划分	13
参 考 文 献	错误！未定义书签。

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则的规定起草。
请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国工业互联网研究院提出。

本文件由中国机电一体化技术协会归口。

本文件起草单位：中国工业互联网研究院、XXX等

本文件主要起草人：

云边端协同机制测试与评价

1 范围

本文件规定了云边端协同系统的测试环境构建要求、功能测试方法（任务协同、数据协同、服务协同、运管协同）、性能测试方法（时延、资源调度等）、可靠性及安全性评价指标，以及评价实施规范。

本文件适用于：

- a) 云边端协同系统的功能验证与性能测试；
- b) 第三方检测机构开展合规性认证；
- c) 系统开发商进行协同能力自评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件仅对应版本适用；不注日期的引用文件，其最新版本（含修改单）适用。

GB/T 25069-2022 信息安全技术 术语

GB/T 32400-2015 信息技术 云计算 概览与词汇

GB/T 37737-2019 信息技术 云计算 分布式块存储系统总体技术要求

3 术语和定义

3.1 云边端协同系统 Cloud-edge-end collaboration

云边端协同系统是一个为了实现特定业务目标，将云计算中心、边缘节点和终端设备在硬件、软件、数据与控制面上深度集成，并通过**统一协同机制**进行计算任务动态调度、数据存储及服务链式编排的**分布式计算系统**。

3.2 边缘节点 Edge node

部署于网络边缘侧，具备计算、存储及网络转发能力的物理设施或虚拟化设施。

3.3 跨域数据同步 Cross-domain data synchronization

云端与边缘节点、不同域的边缘节点之间按策略实现数据状态最终一致性的过程。

3.4 服务链编排 Service chain orchestration

将业务流程分解为可跨层级（云/边/端）部署的服务模块，并按逻辑顺序调用的机制。

4 系统架构与测试基础要求

4.1 协同层级模型

云边端协同系统应采用分层架构，包括：

- 1、云端层：集中式数据中心，负责全局调度、大数据分析及策略生成；

- 2、边缘层：分布式节点集群，承担实时处理、本地决策及数据预处理；
- 3、终端层：感知与执行设备，实现数据采集、指令响应及轻量计算。

4.2 测试环境构成

测试环境应包含：

- 1、云平台，支持弹性资源调度；
- 2、边缘节点集群，集群大于等于3个边缘节点；
- 3、终端仿真工具，支持模拟大规模设备接入；
- 4、网络损伤仪，支持模拟时延/丢包。

4.3 基础资源能力要求（通信/计算/存储）

基础资源应符合表1规定：

表1 资源能力最低要求

资源类型	云端要求	边缘节点要求	验证测试项
带宽资源	≥1Gbps互联	≥100Mbps至终端	跨域数据同步
计算资源	虚拟化集群	容器化运行时	服务链编排
存储资源	分布式存储+备份	本地SSD缓存≥500GB	故障恢复

5 协同功能测试方法

5.1 任务协同测试

任务协同测试用于验证云边端系统系统的任务分配与调度机制的有效性，包括任务拆分与分发、动态负载均衡以及故障协同恢复等。

5.1.1 任务拆分与分发

任务拆分与分发测试用于验证系统能否根据任务特性在云端、边缘端和终端之间合理拆分并分发任务，同时根据智能模型参数规模在云端、边缘端和终端之间更新并下发模型。

云边端协同系统内，不同功能应部署在最适合的层级：涉及实时性要求高的计算任务宜在边缘节点执行；非实时的大规模数据分析任务宜在云端执行。从智能模型的参数规模角度出发，小模型宜部署在端侧或边缘节点，大模型宜部署在云端。

应设计包含多个子任务的复杂应用场景，以此检查协同系统是否能依据策略正确拆分任务或模型并分发到对应节点执行。复杂应用场景的设计宜考虑到任务时延敏感度、计算量和数据规模等因素。

应验证任务分发策略在不同网络状态下的适应性。例如，当网络带宽受限或边缘计算资源紧张时，系统是否能调整任务拆分策略，将更多计算转移到云端处理；反之在本地处理较多任务，从而满足应用的性能需求。测试宜覆盖正常和异常场景下任务拆分与分发策略的有效性。

测试的基本步骤包括：

- 1、创建不同复杂度、不同类型的任务，如数据密集型任务、计算密集型任务等；
- 2、观察任务的拆分过程或模型的下发过程，记录拆分后的子任务数量、每个子任务的具体内容及分配的目标节点；
- 3、检查子任务是否准确、及时地分发到相应的云端、边缘节点或终端设备；

4、收集各节点执行子任务的结果，并验证这些结果是否能被正确汇总，形成完整的任务结果。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。

5.1.2 动态负载均衡

动态负载均衡测试用于验证云边端协同系统具备感知各节点的处理压力，并动态调整任务分配以避免部分节点过载，保障系统稳定运行的能力。

可通过构造不均衡负载场景（例如部分边缘节点承受大量任务而其他节点空闲）来测试与验证系统的负载均衡机制是否有效，负载较重的节点任务应及时转移或拆分给其他云或边缘节点执行，从而保证响应时间和吞吐率不因单点过载而下降。

测试的基本步骤包括：

- 1、让系统处于正常运行状态，记录各节点的初始负载情况；
- 2、通过负载生成工具逐步增加部分节点的负载，观察系统是否能监测到负载变化，并查看系统是否会自动调整任务分配，将过载节点上的任务迁移到负载较轻的节点上；
- 3、记录负载调整前后各节点的负载变化情况，以及任务迁移的时间和成功率。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。此外，宜评估在负载变化频繁的情况下，调度算法的稳定性和开销，确保其不会因频繁迁移任务而引入过多额外时延。

5.1.3 故障协同恢复

故障协同恢复测试用于评估云边端协同机制在出现节点故障或网络异常时维持服务连续性的能力。

测试应模拟边缘节点突然掉线、边缘节点与云端的网络连接中断、终端设备故障等各种典型故障场景，观察系统能否及时检测并触发协同恢复机制。例如某边缘节点故障后，原由其承担的任务应由其他边缘节点或云端接管，确保功能不中断；当网络短暂中断时，边缘节点应具备本地处理和缓存能力，待连接恢复后再同步结果。

测试的基本步骤包括：

- 1、使系统正常运行，执行一定的任务；
- 2、人为模拟某典型故障；
- 3、观察云边端协同系统是否能及时发现故障，并记录故障发现的时间；
- 4、观察云边端协同系统是否会采取相应的恢复措施，如将故障节点上的任务转移到其他正常节点、重新建立网络连接等；
- 5、记录故障恢复的时间、任务的连续性以及数据的完整性。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。此外，对要求高可用性的工业互联网场景，还应验证在多点同时故障等极端情况下，系统是否按照预定策略（如本地应急模式）保持基本功能运转，通过测试确保云边端协同机制具有故障承受和故障恢复的能力。

5.2 数据协同测试

数据协同测试用于验证云端、边缘端和终端在数据共享与管理方面的协同能力，宜包括跨域数据的一致同步、隐私数据安全脱敏处理以及数据的智能压缩。

5.2.1 跨域数据同步

跨域数据同步测试用于验证云边端协同机制中不同域（例如边缘与云端、不同地域的边缘节点之间）数据一致性、及时性和同步机制的有效性。

跨域数据同步测试应模拟多种典型数据场景，如终端设备在边缘侧采集产生的数据，需与云端数据库保持同步；或多个边缘节点分别采集的局部数据，需要定期汇聚到云端进行全局分析。

应关注数据在传输过程中的完整性和时延，测试指标包括数据同步的准确性（同步后的数据与原始数据是否一致）、同步的及时性（数据从源域到目标域的同步时间）和同步的效率（单位时间内同步的数据量）。

宜测试网络波动或中断时的数据一致性：边缘节点在离线期间应能本地暂存数据，并在恢复连接后与云端/其他节点进行同步合并，确保最终一致性。

测试的基本步骤包括：

- 1、在某个域的节点上生成一定量的测试数据，包括结构化数据和非结构化数据；
- 2、启动数据同步功能，观察数据是否能从源域节点同步到其他目标域节点；
- 3、记录数据同步的开始时间和完成时间，以及同步过程中数据的传输量；
- 4、验证目标域节点上同步后的数据与源域节点上的原始数据是否一致，包括数据内容、格式和完整性；
- 5、构造网络波动，观察离线期间本地能否暂存数据，恢复网络连接后能否继续同步，验证合并后的最终一致性。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。

5.2.2 隐私数据脱敏

对于被定义的隐私数据（如工业互联网和车联网等应用可能涉及个人身份信息、位置数据或商业机密），在由边缘向云传输或跨域共享前，需要进行脱敏处理（如去标识化、匿名化）或采取本地化处理策略。隐私数据脱敏测试用于验证云边端协同系统中对隐私数据的保护措施，确保在数据共享协同的同时遵守隐私和安全要求。

测试应包含多种类型敏感信息的场景（例如含有个人身份标识的数据日志、地理位置数据等），验证是否按照预先制定的策略对敏感字段进行脱敏，比如使用哈希替代真实ID、降低精度模糊地理坐标、聚合统计代替明细数据等。同时，应评估脱敏处理对数据可用性的影响，确保经过脱敏的数据仍然能支持云端应用的功能需求。测试指标包括敏感数据在传输前脱敏的覆盖率、脱敏策略执行的正确性，以及未授权情况下获取原始敏感信息的难度等。隐私数据脱敏测试的目标是确认协同系统在充分利用数据的同时，采取了有效的隐私保护措施，符合相关法规和标准要求。

测试的基本步骤包括：

- 1、将包含隐私信息的测试数据输入到系统中；
- 2、启动隐私数据脱敏功能，观察系统对数据的处理过程；
- 3、收集脱敏后的数据，使用检测工具检查隐私信息是否被有效隐藏或替换；
- 4、验证脱敏后的数据是否仍具有可用性，即脱敏后的数据能满足正常业务处理需求。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。

5.2.3 数据智能压缩

数据智能压缩测试用于验证云边端系统在智能协同场景下，通过智能算法驱动的数据压缩与还原机制，在保证任务精度的前提下降低数据传输量与延迟，提升整体协同效率。

宜关注系统在云边端多层级间的数据传输效率和对任务的精度影响。测试指标包括压缩率（压缩后数据量占原始数据的比例）、传输时延（包含压缩时延、压缩后传输时延和解压

时延)、任务精度保持比(压缩传输后智能模型推理或任务识别精度与原始精度的比值)和带宽节省率(压缩传输带宽相较于原始传输节省的比例)。

测试的基本步骤包括:

1、配置测试环境并选择测试数据集，宜选取具有代表性的图像、视频或时序数据等典型数据集。

2、执行基线测试，在不压缩数据时记录带宽使用、任务精度等指标。

3、执行智能压缩测试，使用智能压缩算法，在相同条件下执行压缩和解压，记录对应指标。

4、执行动态带宽测试，在传输过程中动态调整网络带宽，观察系统是否根据带宽变化自动调整压缩等级。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。

5.3 服务协同测试

服务协同测试用于验证云边端协同系统的服务组合与接口兼容方面的协同工作能力，包括跨层级的服务编排以及API接口的标准兼容。

5.3.1 服务链编排

云边端协同系统往往涉及将一系列服务功能按顺序或逻辑组合(服务链)来完成业务流程，例如工业现场数据在边缘预处理后上传云端进行高级分析，随后云端下发指令给边缘执行。因此，需要有统一的编排机制，确保各环节服务按正确次序在适当节点部署和调用。服务链编排测试检验不同层级节点间协调复杂服务流程的能力。

测试时，可构造包含多步骤的服务工作流(例如终端设备数据采集→边缘数据预处理→云端分析与决策→边缘执行反馈)，观察协同编排框架是否能够根据策略正确地将每一步服务部署在云或边缘，并保证它们按约定顺序互相衔接。同时，记录服务链的编排时间、各服务的调用顺序和执行时间。

宜测试服务链的弹性，即在负载变化或节点故障情况下，编排器是否能动态调整服务部署(如将某步骤从故障节点迁移到可用节点)，保持服务链路完整。

测试的基本步骤包括:

1、根据业务需求定义不同的服务链，明确各服务的顺序和依赖关系；

2、启动服务链编排功能，观察系统是否能按照定义的服务链自动调用相应的服务模块；

3、记录服务链的编排时间、各服务的调用顺序和执行时间；

4、评估服务链编排的正确性，即是否按照定义的顺序和依赖关系调用服务；评估编排的效率，即编排时间的长短；验证服务链执行的结果是否符合预期，是否能完成预定的业务功能。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。

5.3.2 API 接口测试(测试内容包括了接口的正确性或法规的符合性，不仅是兼容性)

API接口兼容性测试用于验证云边端各组件间的交互接口遵循统一规范，从而实现不同模块、不同厂商系统之间的互联互通。

测试应梳理系统所用的主要API(例如设备接入API、边缘服务调用API、云管理API等)，核对这些API是否符合行业标准或规范。应针对API的版本兼容性和跨平台兼容性进行验证；模拟不同版本组件交互、第三方应用对接，检查是否出现调用错误或数据格式不一致问题。

应进行错误处理测试，例如接口调用异常时各端是否按规范返回错误码及消息。

测试的基本步骤包括：

1、收集系统所用各API接口文档，评估接口的参数、返回值和功能等是否符合行业标准或规范；

2、对API版本兼容性进行测试：收集不同版本系统的API接口文档，使用工具调用不同版本系统之间的API接口，包括高版本调用低版本、低版本调用高版本以及同版本之间的调用，记录接口调用的成功率、响应时间以及返回结果的正确性，检查是否存在因接口不兼容而导致的错误或异常；

3、对API跨平台兼容性进行测试：使用工具调用部署于不同平台的API接口，记录接口调用的成功率、响应时间以及返回结果的正确性，检查是否存在因接口不兼容而导致的错误或异常；

4、错误处理测试，重点测试接口调用异常时各端是否按规范返回错误码及消息。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。如果系统使用了自定义的私有API，还应测试文档一致性和封装的适配层，确保对外表现为标准接口。

6 性能测试方法

6.1 协同时延测试

协同时延测试用于测试云边端协同系统在执行联合任务时的时间开销，重点评估系统对实时性要求的满足程度。

测试环境应搭建典型的云边端协同场景，包括部署在协同架构中运行的云平台、多个边缘节点和终端设备。网络环境可模拟不同的带宽和延迟情况。应配备时延监测工具。测试对象为云边端协同过程中的数据传输、任务交互等关键环节的时延。

测试应获取云边端协同机制下测试对象从下发任务请求到最终处理/反馈的总时延，并宜获取时延在各阶段（设备感知、边缘处理、网络传输、云处理等）的分布。

测试的基本步骤包括：

1、在系统中设置业务场景，如实时数据采集与分析、远程控制等；

2、在特定的网络条件下，发起数据传输或任务交互操作，并使用时延监测工具记录从操作发起至收到响应的时间，包括云到边、边到端、端到边、边到云等不同方向的时延；

3、对多次测试结果进行统计分析，计算平均协同时延、最大协同时延、最小协同时延及不同方向的协同时延。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。例如，可改变网络条件（例如网络带宽、噪声/干扰的数量、功率及频谱特征），重复基本步骤2和3，以获取不同网络条件下的协同时延。

6.2 资源调度效率

资源调度效率测试用于评估云边端协同系统对资源的利用效率和调度算法开销，衡量其在满足性能需求的同时优化资源配置的能力。

测试可通过模拟一定时期内各种任务负载（包括周期性任务、突发任务等），来观察协同调度框架在分配任务到各节点时的决策速度和准确性。例如，当有新任务到来或现有任务状态发生变化时，调度模块需要快速决定在何处执行新的任务，测试应记录每次调度决策所需时间。其次，评估调度策略是否充分发挥各层资源能力：在任务调度前后，对比各节点CPU、

GPU和内存等利用率的变化，理想情况下调度应提升整体平均利用率且避免某些节点闲置或过载。

测试的基本步骤包括：

1、让系统处于初始状态，记录各节点的资源初始分配情况；

2、提交不同类型和数量的任务（包括周期性任务、突发任务等，他们对资源有不同的需求），观察系统对资源的调度过程，记录资源从申请到分配完成的时间，以及各节点资源的使用变化情况；

3、计算资源调度的效率，即单位时间内成功调度的资源量与总资源需求量的比例。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。

进一步地，宜关注调度算法在大规模节点情况下的可扩展性和稳定性，测量随着节点和任务数量增加，调度开销增长是否合理。

进一步地，宜验证在协同调度下，是否实现了与集中云计算相比更优的性价比，例如相同任务在协同架构中完成所需的总资源消耗是否更低。测试结果最终应证明协同系统的资源调度机制能够高效地统筹云边端资源，在保障任务性能的前提下最大化资源利用效率。

6.3 高并发处理能力

高并发处理能力测试用于检查云边端协同机制在同时处理大量请求或连接时的性能表现和扩展能力。

测试应逐步增加终端设备的接入数量或任务并发数，评估系统吞吐率（每秒处理请求数）和响应时间随并发负载的变化情况。测试需要验证在高并发情形下，边缘节点和云端是否还能正常协同处理且性能不出现明显退化（主要性能指标仍保持在允差范围内）。例如，宜测量系统在50%、80%、100%等不同并发负载比例下的CPU占用率、GPU、内存占用率和网络带宽利用率，观察是否存在瓶颈。宜进行长时间高并发情形下的稳定性测试，例如持续高并发运行数小时，验证系统是否存在崩溃、内存泄漏或性能逐渐下降等问题。

测试的基本步骤包括：

1、逐步增加并发任务请求或数据传输的数量，从较低的并发量开始，每次增加一定的数量；

2、在每个并发量级别下，运行系统一段时间，记录系统的处理情况，包括成功处理的任务数量、数据传输的吞吐量、系统的响应时间等；

3、观察系统在高并发情况下是否出现异常，如崩溃、卡顿等；

4、重复步骤1-3，最终确定系统能稳定处理的最大并发量。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。

6.4 极端场景稳定性

极端场景稳定性测试用于评估云边端协同系统在超出平常负载、恶劣网络环境等非常规或极端条件下保持功能和性能的能力。这部分测试旨在发现系统在压力极限下的薄弱环节，检验其鲁棒性设计是否达标。

对于超负载情形，测试人员应让系统承受远高于平常的任务量或数据流入速率，观察是否出现严重性能退化或崩溃。测试的基本步骤包括：

1、设置极端超负载场景，如将网络带宽限制到极低水平、模拟大量边缘节点或终端设备同时故障、生成远超正常量的数据等；

- 2、在每个极端场景下，让系统运行一段时间，执行正常的业务任务。接着，监测系统的运行状态，包括是否出现崩溃、数据丢失、响应超时等情况，记录系统的恢复能力；

- 3、评估系统在极端场景下的稳定性。

对于恶劣网络环境情形，测试人员应模拟网络数据传输高时延、高丢包率，及链路波动、节点重启等异常事件，检查系统在环境剧变下的自恢复能力。测试的基本步骤包括：

- 1、设置各类网络性能恶劣、拓扑多变的恶劣场景，如制造大量干扰流量、信道噪声导致传输过大的时延、过高的丢包；人为制造链路接口的重启、节点的重启等；
- 2、在每个极端场景下，让系统运行一段时间，执行正常的业务任务。接着，监测系统的运行状态，包括是否出现崩溃、数据丢失、响应超时等情况，记录系统的恢复能力；
- 3、评估系统在极端场景下的稳定性。

宜以基本测试步骤为基础，根据测试场景和测试目标制定具体的测试方法。

7 评价指标体系（评价指标体系应与 5, 6 中的内容相吻合，建议不要脱离 5 和 6）

本章建立云边端协同机制的综合评价指标体系，从功能性、性能、可靠性和安全性四个维度出发，形成多角度、多层次的度量框架，用以指导测试环节中各类协同机制的评估与对比。

7.1 功能性评价指标

功能性评价关注系统在任务协同和数据协同层面是否能够满足预期业务逻辑和协同功能的完成。

7.1.1 任务完成度

任务完成度衡量协同系统在指定时间周期内执行指令或任务的有效性，反映其在多节点下的调度稳定性和任务执行一致性。

定义：指所有调度任务中被准确执行并成功返回结果的比例；

计算公式：任务完成度 = $\frac{N_{\text{成功}}}{N_{\text{总任务}}} \times 100\% ;$

其中， $N_{\text{成功}}$ 为成功完成任务的数量， $N_{\text{总任务}}$ 为分配的总任务数；

测量方法：基于任务调度平台记录的任务执行日志，通过分析任务状态码（如完成、失败、重试、异常中断）进行统计；

推荐基准值：一般工业场景下不低于95%，关键控制场景推荐值为99%以上；

说明：任务完成度受限于任务粒度定义、网络稳定性、边缘节点响应能力等，需结合任务平均执行时长进行辅助分析。

7.1.2 数据一致性

数据一致性是评估协同系统中多个节点间数据同步结果准确性的核心指标。

定义：反映同一数据在多个协同参与方之间同步内容的一致性程度；

细化指标：

- 数据版本一致率（同步状态下数据哈希校验一致比例）；
- 数据更新延迟（从数据变更至全部节点完成同步的平均时延）；

测量方法: 通过对多个节点存储的关键同步字段进行周期性哈希比对、时间戳比对，提取差异性统计值；

参考阈值:

- 一致率不低于99.5%；
- 平均时延不超过50ms（强一致性）/500ms（最终一致性）；

场景说明: 关键生产数据如控制指令、工艺参数应采用强一致性策略，日志、状态类数据可容忍轻微延迟。

7.2 性能评价指标

性能评价反映协同系统在运行时的资源利用效率和业务响应速度，是保障高并发与大规模任务下系统稳定运行的关键标准。

7.2.1 端到端响应时延

定义: 从边缘节点接收到用户或设备请求开始，至云端完成处理并将结果返回给边缘节点所经历的全部时间；

计算方式: 端到端响应时延 = $T_{\text{响应}} - T_{\text{请求发起}}$ ；

采集机制: 在边缘侧与云端打时间戳，采用统一NTP时间基准进行对时，保证误差可在 $\pm 1\text{ms}$ 范围内；

参考指标:

- 普通工业监控任务：200ms以内；
- 智能控制、联动决策场景：100ms以内；
- 安防、实时视频分析类：需 $<50\text{ms}$ ；

附加指标: 响应时间抖动幅度（Jitter），用于评估是否存在明显的时延波动。

7.2.2 资源利用率

定义: 在运行任务过程中，边、云各节点的计算资源、内存资源与通信带宽的利用程度；

评价维度:

- CPU平均与峰值使用率；
- GPU张量计算利用率（如涉及模型推理）；
- 内存占用占比；
- 带宽吞吐量占用率；

采集方式:

- 使用容器或节点级别监控工具；
- 网络流量监控通过SDN交换机端口镜像或sFlow采集；

建议阈值:

- 长期运行建议控制在 50%-80% 区间，避免资源瓶颈；
- 峰值不超过 95%，且可触发弹性调度机制。

7.3 可靠性评价指标

可靠性指标衡量系统在面对故障、负载波动或异常情况时的容错能力与自恢复能力，是工业部署的关键保障。

7.3.1 故障恢复率

定义: 系统故障发生后，能自动或手动恢复正常服务的成功比例；

计算方式: 故障恢复率 = $\frac{N_{\text{成功恢复}}}{N_{\text{故障总数}}} \times 100\%;$

采集机制:

- 每次故障事件登记时间、故障类型、影响范围、恢复类型、恢复耗时；
- 建议结合告警系统与恢复操作日志进行自动闭环比对；

参考标准: 不低于 98%，连续运行场景建议 >99. 5%。

7.3.2 服务持续可用性

定义: 系统对外提供服务的连续性与稳定性，即单位周期内处于可服务状态的时间比例；

计算方式: 可用性 = $\frac{T_{\text{服务可用}}}{T_{\text{总运行时间}}} \times 100\%;$

细分指标:

- 日均可用性；
- 月度可用性；
- MTBF（平均无故障时间）等；

目标值建议:

- 工业连续生产线类应用推荐不低于99. 95%；
- 通用数据采集系统不低于99%；

7.4 安全性评价指标

安全性维度指标确保协同系统在数据传输、存储、访问控制等环节具备抵抗非法攻击与内部越权操作的能力。

7.4.1 数据传输加密率

定义: 通过安全传输协议（如TLS、HTTPS、MQTT+TLS等）加密的数据包数与总传输数据包数之比；

采集方式: 使用深度包检测（DPI）或协议识别工具（如Wireshark、Snort）抓取样本数据流分析；

参考值: 应达到100%；

说明: 任一明文协议链路均需整改；部分场景（如工业协议Modbus）需通过VPN或隧道方式进行补偿加密。

7.4.2 越权访问阻断率

定义: 系统成功拦截非授权访问行为的次数与越权尝试总次数之比；

数据来源: 访问控制模块日志、API网关拦截记录、安全策略报警记录；

建议指标: 阻断率应高于 99. 9%，并具备实时告警与行为溯源能力；

附加建议: 每月需开展至少一次权限穿透测试以检验规则有效性。

8 评价实施规范

本章规定云边端协同系统在实施综合测试与评价过程中应遵循的数据采集、指标评估与综合评级方法，确保测试结果具有代表性、可比较性与复现性。

8.1 测试数据采集要求

采集规范化要求: 测试数据必须采用结构化形式（如JSON、CSV、Parquet）进行记录，并包含时间戳、设备标识、任务ID等元信息；

同步时间基准: 所有参与节点应通过NTP协议统一系统时间，最大漂移不得超过2ms；

采样频率建议:

- 性能类指标: 1Hz~10Hz
- 功能与异常类指标: 基于事件触发采集

日志保存机制: 建议采用集中式日志服务，并设定最小保存周期（如1个月）供溯源。

8.2 指标权重分配原则

根据典型工业场景对功能完整性、性能表现、安全保障与可靠性容错的重视程度，制定如下建议权重方案：

(1) **功能性指标: 30%**

- 任务完成度: 20%
- 数据一致性: 10%

(2) **性能指标: 30%**

- 端到端响应时延: 20%
- 资源利用率: 10%

(3) **可靠性指标: 25%**

- 故障恢复率: 10%
- 服务持续可用性: 15%

(4) **安全性指标: 15%**

- 数据加密率: 8%
- 越权访问阻断率: 7%

说明：若实际应用场景中某类指标不适用，应以零权重计入，并按照比例调整其他指标的权重，且在测试报告中注明。

8.3 综合评价等级划分

在采集各类指标后，应依据标准评分体系将协同系统分为以下四类等级：

- (1) A级（优秀）：综合得分 ≥ 90 分，适合大规模多系统云边端部署场景；
- (2) B级（良好）： $80 \leq \text{得分} < 90$ ，适用于中小型工业场景和新试点系统；
- (3) C级（合格）： $70 \leq \text{得分} < 80$ ，满足基本功能需求但仍存在优化空间；
- (4) D级（不合格）：得分 < 70 ，不建议投入运行，需进一步整改优化；

每项评分结果应附可溯源的原始数据截图或指标图表，并推荐使用自动化评测平台统一输出标准化报告。

《云边端协同机制测试与评价》

编制说明

2025 年 10 月

一 工作简况

(一) 任务来源

随着云计算、边缘计算和终端设备技术的飞速发展，云边端协同机制在工业互联网、智能交通、智慧城市等领域的应用日益广泛。云边端协同通过标准化接口实现云端、边缘节点与终端设备的计算任务动态调度、数据分级存储及服务链式编排，极大地提升了系统的灵活性、实时性和可靠性。然而，目前国内针对云边端协同机制的测试与评价标准尚不完善，行业内缺乏统一的技术指导文件，导致系统功能验证、性能评估和安全性检测缺乏一致性，严重制约了该技术的规模化应用和产业化发展。

在此背景下，中国机电一体化技术应用协会积极响应《国家标准化发展纲要》中“加强重点领域标准制定”的号召，结合行业需求和技术发展趋势，于2025年正式立项“云边端协同机制测试与评价”团体标准编制任务。本标准由中国工业互联网研究院牵头，联合多家高校、科研院所、龙头企业共同参与编制，任务来源具体包括以下三方面：

国家战略需求：《中国制造 2025》明确提出要突破先进制造技术瓶颈，推动智能制造和工业互联网的发展。云边端协同机制是实现智能制造和工业互联网的关键技术之一，亟需通过标准化手段提升其测试与评价水平，确保系统的可靠性和安全性。

行业迫切需求：云边端协同系统在实际应用中面临功能复杂、性能要求高、安全性要求严格等挑战。由于缺乏统一的测试与评价标准，行业内普遍存在系统功能验证不规范、性能评估不一致、安全性检测不全面等问题，严重制约了技术的推广应用。行业亟需一套涵盖功能测试、性能测试、可靠性评价和安全性检测的专项标准，以指导企业规范开发和部署云边端协同系统。

技术创新推动：近年来，国内在云边端协同的架构设计、任务调度、数据同步、服务编排等领域取得突破性进展。但这些技术成果尚未形成标准化推广路径，亟需通过标准编制实现技术固化与共享，推动行业从传统经验驱动向科学化、数据化模式转型。

(二) 国内关于云边端协同机制测试与评价标准的制定情况及最新要求

目前国内与云边端协同机制测试与评价的标准主要包括以下类型：

基础通用标准：

GB/T 25069-2022《信息安全技术术语》：定义了信息安全相关术语，但未涵盖云边端协同的专有术语。

GB/T 32400-2015《信息技术云计算概览与词汇》：规定了云计算的基本概念，但并未

专门针对云边端协同机制。

GB/T 37737-2019《信息技术云计算分布式块存储系统总体技术要求》：涉及云计算存储技术，但未涵盖云边端协同

行业专项标准：

目前尚无专门针对云边端协同机制测试与评价的行业标准，现有标准主要集中于云计算和边缘计算的单独领域，缺乏对云边端协同整体机制的系统测试与评价标准。

综上可见，现有标准对云边端协同的核心功能（如任务协同、数据协同、服务协同）、性能指标（如协同时延、资源调度效率）、可靠性（如故障恢复率）和安全性（如数据传输加密率）仅作原则性描述，缺乏具体测试方法和评价指标。国内尚未建立针对云边端协同机制的全面测试与评价标准，亟待实现相关技术的突破和标准化。

（三）标准编制的目的、意义

云边端协同机制测试与评价标准的编制，旨在通过系统化、科学化的技术指引，填补国内在该领域标准化建设的空白，推动行业技术水平的整体提升与高质量发展。当前，随着云边端协同技术在多个领域的广泛应用，系统功能验证、性能评估和安全性检测面临诸多挑战，缺乏统一的测试与评价标准，导致系统部署和运维过程中存在诸多不确定性，严重制约了技术的规模化应用与产业升级。

本标准的制定，首先着眼于解决技术应用的规范性难题，通过明确测试环境构建、功能测试方法、性能测试方法、可靠性及安全性评价指标，为系统开发商、第三方检测机构和用户提供可操作的技术依据，减少因测试不规范导致的系统故障和安全隐患，提升系统的可靠性和一致性。

其次，标准通过整合前沿技术成果与工程实践经验，将任务协同、数据协同、服务协同、协同时延、资源调度效率、高并发处理能力、极端场景稳定性等核心测试内容纳入规范框架，引导行业从传统经验驱动向科学化、数据化模式转型，为技术迭代提供基础支撑。

此外，标准注重对接国际先进技术规范，通过建立与国际接轨的测试与评价体系，助力国产云边端协同技术和产品走向全球市场，增强我国在相关领域的话语权。从行业生态层面，本标准的实施将促进产学研深度融合，加速科研成果向实际生产力的转化，同时通过规范测试与评价环节，推动全产业链协同发展，为智能制造、工业互联网等领域的智能化、高效化、可持续发展注入动力。

长远来看，这一标准不仅为云边端协同机制的高质量应用奠定了技术基石，更通过标准化手段提升了行业整体竞争力，为我国制造业和服务业的数字化转型提供了有力保障。

（四）标准特点

本标准主要涵盖云边端协同机制的测试环境构建要求、功能测试方法（任务协同、数据协同、服务协同）、性能测试方法（协同时延、资源调度效率、高并发处理能力、极端场景稳定性）、可靠性及安全性评价指标，以及评价实施规范。这一标准填补了云边端协同机制测试与评价领域的规范性需求，旨在推动云边端协同机制的规范化，提高系统开发和部署的质量和效率。

（五）主要工作过程

1. 编制准备阶段

2025年3月-9月。主编单位接到编制任务后，组织专业技术人员成立编制组，开展大量的资料收集和前期调研工作，编写完成标准大纲、标准初稿等。

2. 征求意见阶段

2025年10月完成标准草案的完善，并小范围内部征求意见，根据反馈意见修改形成征求意见稿，全面公开征求意见。

3. 送审阶段

将接受专家审查，并根据专家审查意见修改送审稿，最终形成报批稿。

4. 报批阶段

准备报批。

二 标准编制原则

（一）科学性原则：本标准编制是在科学理论和实践经验基础上，确保技术要求和规范具有科学性和可行性，能够有效指导实际施工过程。

（二）统一性原则：本标准编制统一了各方的要求和标准，确保项目参建单位在云边端协同机制测试与评价过程中能够按照该标准进行操作。

（三）公正性原则：本标准编制过程公正、公平、透明，确保标准的制定过程中各方利益的平衡，不偏袒任何一方，保证标准的客观性和公信力。

（四）可操作性原则：本标准编制时充分考虑了实际操作性，确保项目参建单位能够对照标准的要求进行云边端协同机制的测试与评价，避免标准过于理论化或难以实施的情况。

（五）合规性原则：本标准编制符合国家法律法规和相关行业的规范和标准，确保标准的合法性和合规性，遵循国家政策和法律要求。

三 标准主要内容

1. 范围：介绍云边端协同机制测试与评价标准的制定背景、目的和适用范围等；
2. 规范性引用文件：本标准编制时引用的标准规范等文件；
3. 术语与定义：对本标准中所涉及的名词术语进行定义；
4. 系统架构与测试基础要求：包括协同层级模型、测试环境构成、基础资源能力要求（通信/计算/存储）；
5. 协同功能测试方法：包括任务协同测试、数据协同测试、服务协同测试；
6. 性能测试方法：包括协同时延测试、资源调度效率、高并发处理能力、极端场景稳定性；
7. 评价指标体系：包括功能性评价指标、性能评价指标、可靠性评价指标、安全性评价指标；
8. 评价实施规范：包括测试数据采集要求、指标权重分配原则、综合评价等级划分。

四 预期经济效果

云边端协同机制测试与评价标准的实施，预期将带来显著的经济效果。目前，云边端协同技术在工业互联网、智能交通、智慧城市等领域的应用规模正在快速增长，已成为提升系统性能和可靠性的关键技术。然而，企业、机构在应用云边端协同技术时面临高昂的测试与评价成本和时间压力。通过制定云边端协同机制测试与评价标准，预期将显著降低这些开发成本。标准的实施将明确测试目标和要求，提升测试效率，减少重复劳动。此外，统一的标准将促进不同系统之间的互操作性和兼容性，降低资源浪费，并简化测试和验证过程，进一步缩短系统开发和部署周期。这将使企业、机构能够更专注于技术创新和应用推广，最终推动云边端协同技术的整体进步，实现可观的经济回报。

五 采用国际标准和国外先进标准情况

在编制云边端协同机制测试与评价标准过程中，我们充分借鉴了国际标准和国外先进标准，结合国内实际情况进行了深入研究与修订。通过与国际接轨，确保我国云边端协同机制测试与评价标准达到国际先进水平，为产业发展提供有力支撑。

六 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

在编制云边端协同机制测试与评价标准过程中，我们严格遵循了相关的现行法律、法规和强制性国家标准，确保标准的合规性和权威性。同时，我们也充分考虑了云边端协同机制测试与评价标准的发展趋势和应用需求。

七 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在起草过程中未出现重大分歧意见。

八 标准性质的说明

建议本标准为推荐性标准。

九 有关专利的说明

本文件在制定过程中，未参考或引用任何专利技术，编制内容均为行业通用技术方法、测试流程及评价指标的总结与规范化，不涉及特定专利的实施或保护。若后续标准实施中发现与第三方专利存在关联的可能性，建议使用者在具体应用中自行评估专利合规性，本文件发布机构不承担识别相关专利的责任。

十 贯彻标准的要求和措施建议

本标准经征求各相关方意见，已形成共识，标准实施之日起，各相关方将遵照执行。

十一 废止现行有关标准的建议

无。