

河北省质量信息协会团体标准
《基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术规范》
(征求意见稿)

编制说明

标准起草工作组

2025年10月

一、任务来源

依据《河北省质量信息协会团体标准管理办法》，团体标准《基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术规范》由河北省质量信息协会于2025年9月28日批准立项，项目编号为：T2025407。

本标准由北京博睿恩智能科技有限公司提出，由河北省质量信息协会归口。本标准起草单位为：北京博睿恩智能科技有限公司、中国科学技术大学、中国科学院自动化研究所、机械工业第六设计研究院有限公司、博泰数智（河北）信息科技有限公司。

二、重要意义

在全球产业向智能化、数字化深度转型的大趋势下，建筑能耗、园区双碳、工业生产、环境监测、军事国防等领域对分布式设备集群的协同控制精度、响应速度与仿真真实性提出了前所未有的要求。传统集中式控制架构因决策层级多、适应性弱，在面对多设备动态博弈场景时（如多无人机协同巡检、多无人车复杂路况调度、楼宇多中央空调跨区域温控），往往出现“决策滞后”“资源浪费”“风险不可控”等问题；而传统仿真手段因模型抽象度过高、场景还原度不足，难以支撑设备协同策略的有效验证，导致技术迭代周期长、落地成本高。

多智能体强化学习（MARL）技术的突破为这一困境提供了破局可能——通过将每个分布式设备抽象为“智能体Agent”，利用多智能体间的强化学习机制实现自主协同决策，可在无集中式指令的前提下达成全局最优目标。然而，当前产业实践中，MARL技术的应用呈现“碎片化”特征：从工业传感器、楼宇温控单元到军用无人装备，各类设备的通信协议、控制接口、性能参数缺乏统一定义，导致智能体间“协同壁垒”突出；主流MARL算法

在不同场景的适配逻辑无规范指引，企业需重复投入大量资源进行算法调优；基于UE、Unity等平台搭建的仿真环境，在物理引擎精度、场景复杂度、数据标注规范等方面缺乏统一标准，仿真结果与真实场景存在较大偏差。

与此同时，国际上欧盟、美国等也在智能电网协同控制领域推动MARL技术标准化，在国内“智能制造2025”“国防科技自主创新”等战略驱动下，若不尽快建立适配我国产业需求的MARL设备协同控制与仿真通用规范，将面临技术应用效率低下、国际竞争被动的双重风险。因此，制定本团体标准是填补技术空白、推动产业规模化落地、抢占国际技术话语权的迫切举措。

三、编制原则

《基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术规范》团体标准的编制遵循规范性要求、一致性和可操作性的原则。首先，标准按照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》、《河北省质量信息协会团体标准管理办法》等编制起草；此外，工作组在制定标准过程中遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”原则，不断满足其他企业实际应用中对技术的需求，推动基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术向着高质量的方向发展。

四、主要工作过程

2025年9月，北京博睿恩智能科技有限公司牵头，组织开展《基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术规范》编制工作。2025年9月，起草组制定了《基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术规范》立项文件，2025年10月，进行了征求意见稿草案的编制，明确了编制工作机制、目标、进度等主要要求。主要编制过程如下：

(1) 2025年8月：北京博睿恩智能科技有限公司联合其他参编单位召开标准编制预备会，会议组织各单位开展资料收集和编制准备等相关工作。

(2) 2025年8月中旬：召开第一次标准起草讨论会议，初步确定起草小组的成员，成立了标准起草工作组，明确了相关单位和负责人员的职责和任务分工。

(3) 2025年8月中旬-8月下旬：起草工作组积极开展调查研究，检索国家及其他省市相关标准，调研基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术的的市场需求，分析了相关科研、应用、检测过程中积累的技术文件，并进行总结分析，为标准草案的编写打下基础。

(4) 2025年9月上旬：分析研究调研材料，由标准起草工作组的技术人员编写标准草案，通过研讨会、电话会议等多种方式，对标准的主要内容进行了讨论，确定了本标准的名称为《基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术规范》。并听取了相关专家和领导的意见和建议，确定了标准的大纲的各条款和指标的调研方案，在各参编单位的积极配合下，调研数据陆续反馈回主编单位。

(5) 2025年9月中旬：本标准起草牵头单位北京博睿恩智能科技有限公司向河北省质量信息协会归口提出立项申请，经归口审核，同意立项。

(6) 2025年9月28日：《基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术规范》团体标准正式立项。

(7) 2025年10月：起草工作组通过讨论，对标准草案进行商讨。确定本标准的主要内容包括基于MARL的设备协同控制与仿真的通用技术要求、特殊领域技术要求、系统架构，初步形成标准草案和编制说明。起草组将标准文件发给相关标准化专家进行初审，根据专家的初审意见和建议进行修改完善，形成征求意见稿。

五、主要内容及依据

《基于MARL的设备协同控制与仿真通用技术规范》团体标准的制订主要参考国内外相关技术研究成果（如多智能体协同控制算法收敛性研究、仿真物理引擎精度测试数据），确保技术参数的合理性与可验证性。

聚焦建筑能耗、园区双碳等五大核心领域的实际痛点，如建筑能耗控制中“能耗与舒适度平衡”、工业生产中“效率与故障率优化”，条款内容直接对应行业需求，可指导系统设计、开发与实施。

1. 范围

基于市场调研结果，当前MARL技术在上述五大领域应用最广泛且需求最迫切，同时参考国内“智能制造2025”“国防科技自主创新”等战略对技术标准化的要求，明确标准的覆盖范围与应用场景。

2. 规范性引用文件

本标准没有规范性引用文件。

3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

多智能体强化学习 multi-agent reinforcement learning

MARL

通过多个智能体在环境中进行试错学习，实现协同决策优化的机器学习方法。

4. 通用技术要求

4.1 智能体性能要求

感知精度：基于现有主流传感器（如温度传感器、激光定位传感器）的实际测量精度，结合分布式设备集群“非实验室环境”的应用场景，预留合理误差范围，确保条款可落地。

响应速度（普通场景 $\leq 100\text{ ms}$ ，高实时性场景 $\leq 50\text{ ms}$ ）：参考工业生产中数控机床控制、军事国防中装备响应的实时性需求，结合MARL算法推理速度测试数据（主流算法在普通硬件上推理延迟约 $30\text{ ms}\sim 80\text{ ms}$ ），确定不同场景的延迟阈值。

通信能力（支持MQTT/CoAP/WebSocket、丢包率 $\leq 1\%$ 、连接数 ≥ 50 个）：基于工业通信领域常用协议的兼容性要求，以及分布式设备集群（如 $10\sim 50$ 个智能体协同）的实际通信负载测试结果，确保数据传输稳定性。

鲁棒性（故障恢复时间 $\leq 30\text{ s}$ ）：参考智能设备故障自愈的行业平均水平，结合现场测试中“传感器离线后重新连接”的恢复时间数据（约 $15\text{ s}\sim 25\text{ s}$ ），设定 30 s 为合理阈值。

4.2 MARL算法要求

收敛性（迭代次数 ≤ 1000 次、目标达成率 $\geq 80\%$ ）：基于10个智能体协同路径规划的标准测试场景，通过主流MARL算法（如MADDPG、MAPPO）的实测数据（平均收敛迭代次数约 $800\sim 950$ 次，收敛后目标达成率约 $85\%\sim 90\%$ ），设定保守阈值以适配不同算法性能差异。

适应性（50次迭代内自适应调整）：参考动态场景（如设备数量增减 20% ）下算法的自适应测试结果，多数算法可在 $30\sim 45$ 次迭代内重新收敛，设定50次为宽松阈值，确保兼容性。

可解释性与可追溯性：基于行业对AI算法“透明化”的需求，尤其是工业生产、军事国防领域对决策依据的追溯要求，明确算法需输出关键决策逻辑并保留日志。

4.3 仿真系统性能要求

物理引擎精度（偏差 $\leq 20\%$ ）：考虑到UE、Unity等主流仿真平台在非专业硬件上的渲染精度（如无人机飞行轨迹模拟偏差约 $15\% \sim 18\%$ ），结合工程应用中“仿真结果用于策略验证而非精确复刻”的需求，设定 20% 偏差阈值。

场景还原度（分米级精度、 ≥ 30 帧/秒）：参考建筑、工业场景三维建模的常用精度（分米级可满足布局与流程模拟需求），以及动态场景（如人流、车流）模拟的流畅性要求（ 30 帧/秒为视觉无卡顿的最低标准）。

数据标注规范：基于仿真数据后续用于算法训练、结果分析的需求，明确数据需覆盖“设备-环境-决策-结果”全维度，支持JSON、CSV通用格式，参考数据标注行业通用规范。

4.4 数据安全要求

数据采集“最小必要”与脱敏：符合《中华人民共和国数据安全法》中“数据采集应遵循合法、正当、必要原则”的要求，针对工业生产工艺数据、军事装备参数等敏感信息，明确脱敏处理要求。

存储加密、备份频率与传输加密：参考GB/T 37722-2019中数据安全存储与传输的要求，结合行业实践（如每日备份、TLS 1.3加密为当前主流安全措施），设定备份频率、保留时间与加密协议标准。

5. 特殊领域技术要求

5.1 建筑能耗领域

智能体适配要求：参考GB/T 51350-2019《建筑节能与可再生能源利用通用规范》中对建筑能耗设备（空调、新风系统）的监控参数要求，明确智能体需读取能耗、运行状态数据并输出精准指令。

MARL算法目标（温度 $22^{\circ}\text{C}\sim 26^{\circ}\text{C}$ / $18^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $40\%\sim 60\%$ ）：依据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB 50736-2012）中室内热舒适参数标准，确保算法目标符合建筑环境舒适度要求。

仿真场景偏差（ $\leq 8\%$ ）：基于建筑能耗模拟软件（如EnergyPlus）的行业验证数据，结合MARL仿真场景的简化建模特点，设定8%偏差阈值，平衡仿真精度与计算效率。

5.2 建筑能耗领域

智能体覆盖要求：参考国家《温室气体排放核算与报告指南》中园区碳排放核算的设备范围，明确智能体需覆盖能源生产、消耗、监测全链条设备。

MARL算法目标（碳减排 $\geq 20\%$ 、供需平衡率 $\geq 90\%$ ）：结合国内园区双碳转型的普遍目标（如“十四五”期间园区碳减排 $18\%\sim 22\%$ ），设定20%减排率；参考能源管理系统供需平衡的行业平均水平（约 $88\%\sim 92\%$ ），设定90%平衡率。

碳排放核算误差（ $\leq 5\%$ ）：依据《省级温室气体清单编制指南》中核算误差控制要求，确保仿真结果可用于园区碳排放管理决策。

5.3 工业生产领域

智能体性能要求：参考实际应用工业设备（数控机床、机器人）的运行参数监控要求，明确智能体需读取转速、扭矩、故障预警数据。

MARL算法目标（MTBF延长 $\geq 15\%$ 、合格率 $\geq 99.5\%$ ）：基于工业企业设备管理的常见优化目标（如设备无故障运行时间提升 $12\%\sim 18\%$ ），设定

15%延长率；参考高精度制造行业的产品合格率标准（如电子行业合格率约99.2%~99.8%），设定99.5%合格率。

仿真偏差（效率 $\leq 6\%$ 、故障准确率 $\geq 85\%$ ）：结合工业生产仿真软件（如Digital Twin）的实测数据，生产效率模拟偏差约5%~7%、故障模拟准确率约82%~88%，设定对应阈值。

5.4 环境监测领域

智能体部署要求：参考实际监测设备的环境适应性要求，明确智能体需具备防水、防尘、抗干扰能力。

MARL算法目标（覆盖率 $\geq 95\%$ 、识别准确率 $\geq 90\%$ 、响应时间 ≤ 30 min）：依据《环境监测质量管理技术导则》中监测覆盖与响应的要求，结合无人机、移动监测车协同的实测数据（覆盖率约93%~96%、识别准确率约88%~92%），设定对应指标。

污染物浓度偏差（ $\leq 10\%$ ）：参考环境监测仪器的测量误差允许范围（如大气颗粒物监测误差 $\leq 10\%$ ），确保仿真结果可用于环境评估。

5.5 军事国防领域

智能体性能要求：参考实际军用设备中抗干扰通信要求，以及军用定位设备的精度标准，明确抗干扰等级、双模定位与国密加密要求。

MARL算法目标（探测概率降低 $\geq 20\%$ 、预警时间 ≥ 3 min）：基于军事装备协同作战的测试数据（如无人机编队被探测概率降低约18%~22%、雷达预警时间约2.5 min~3.5 min），设定战术指标。

场景匹配度（ $\geq 70\%$ ）：考虑到战场环境的复杂性与仿真简化需求，结合军事仿真系统的行业验证标准（匹配度 $\geq 70\%$ 可满足战术推演需求），设定70%匹配度阈值。

6. 系统架构

将系统分为设备接入层、智能体层、MARL算法层、协同控制层、仿真层、应用层，明确各层功能要求。

制定依据：参考分布式系统架构设计的通用逻辑（感知-决策-执行分层），结合MARL技术“多智能体协同+仿真验证”的核心流程，同时适配各领域应用系统（如建筑能耗管控平台、工业MES系统）的对接需求，确保架构的兼容性与可扩展性。各层功能（如设备接入层数据预处理、仿真层策略验证）均基于行业内MARL系统的典型模块设计，确保落地可行性。

六、与有关现行法律、政策和标准的关系

本标准符合《中华人民共和国标准化法》等法律法规文件的规定，并在制定过程中参考了相关领域的国家标准、行业标准、团体标准和其他省市地方标准，在对通用技术要求、特殊领域技术要求、系统架构等内容的规范方面与现行标准保持兼容和一致，便于参考实施。

七、重大意见分歧的处理结果和依据

无。

八、提出标准实施的建议

建立规范的标准化工作机制，制定系统的团体标准管理和知识产权处置等制度，严格履行标准制定的有关程序和要求，加强团体标准全生命周期管理。建立完整、高效的内部标准化工作部门，配备专职的标准化工作人员。

建议加强团体标准的推广实施，充分利用会议、论坛、新媒体等多种形式，开展标准宣传、解读、培训等工作，让更多的同行了解团体标准，不断提高行业内对团体标准的认知，促进团体标准推广和实施。

九、其他应予说明的事项

无。

标准起草工作组

2025年10月

内部讨论资料 严禁非授权使用