

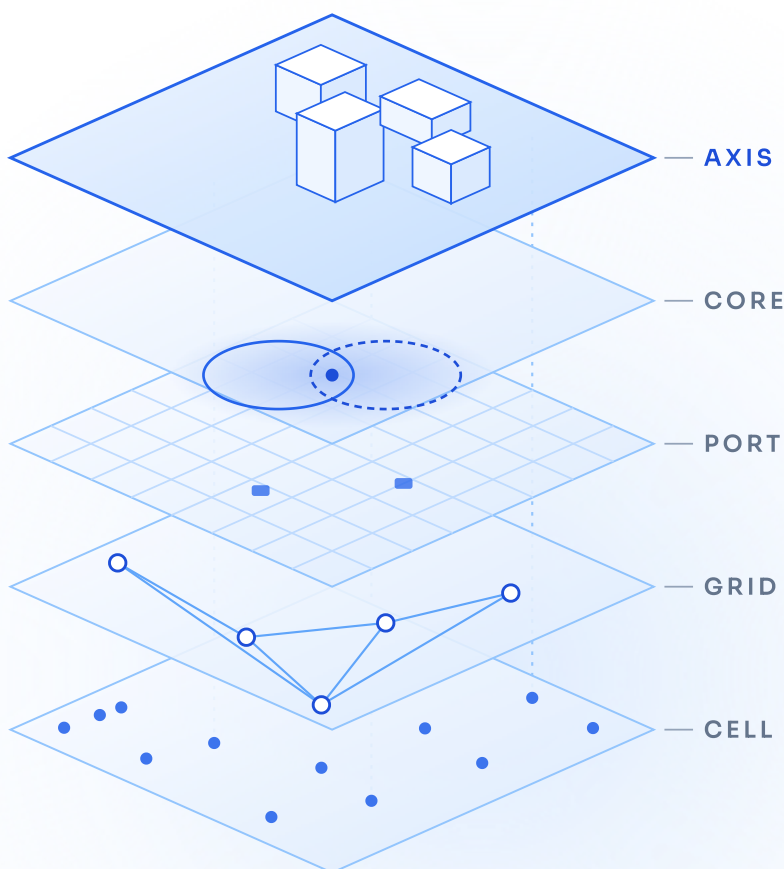
INTERNET OF THINGS FOR AGENTS

IoT4Agent 白皮书

为智能体而建的物联网

瓴渡OS 空间智能参考架构与实践

瓴渡科技 · 2026 年 10 月 · v1.1



空间智能 先知先行 | Sense to Act

先把现场变成可信的空间事实，再让 AI 参与现场决策与行动

目录

摘要	3
1 智能体走进物理现场：新的基础设施缺口	4
智能体从对话走向行动 · 现场对智能体的三重缺口 · 同一组问题在不同行业反复出现 · 合规要求推动现场事实化	
2 从「给人看」到「给智能体用」：IoT4Agent 的定义	5
定义 · 传统物联网与 IoT4Agent 对照 · 三项能力：可读、可信、可行动 · 设计原则	
3 参考架构：瓴渡OS 五层	7
总览 · 各层对智能体提供什么 · 与三项价值主张的对应	
4 关键技术	9
自研超低功耗 2.4G 私有协议 · 空间事实 · 双脑 · 开放接入	
5 全流程案例：一次园区设备过热事件（情境仿真）	11
场景与角色 · 七个阶段 · 三处冲突与判断依据 · 事件复盘 · 与四项已可运行 AI 能力的对应	
6 典型场景	14
安全生产 · 资产管理 · 履约监管 · 工单运营 · 应急管理 · 城市服务	
7 安全、可信与治理	15
数据最小化与权限域 · 证据链、回放与审计 · 人在回路与分级授权 · 模型可替换 · 隐私与合规	
8 落地路径与开放生态	17
从一个场景起步 · 开放生态	
9 结语：空间智能，先知先行	17
附录 A 术语表	18
附录 B 数据与测试条件说明	19

摘要

智能体（Agent）正在从对话走向行动。进入园区、工地、转运站和实验室之后，它首先面对一个基础设施问题：现场对它不可见、不可信、不可控。过去的物联网为「给人看的大屏」而建，数据以曲线的形式交给值班人员，含义留在人的经验里，指令靠电话与工单传达，结果靠人工确认。

本白皮书提出 **IoT4Agent——为智能体而建的物联网**，要求物理现场对智能体做到三点：**可读**，人、机、场、物以低功耗方式持续、全要素在线；**可信**，空间事实带有来源、时间、位置与版本；**可行动**，指令经过执行、回执与核验，由双脑分工完成。

瓴渡OS 是 IoT4Agent 的参考实现，由 CELL、GRID、PORT、CORE、AXIS 五层构成，对应 Sensing as a Service、Source of Truth、Sense to Act 三项价值主张。白皮书以一次园区设备过热事件的 3D 情境仿真，展示从感知、研判、调度到复盘的全流程。

我们倡议从一个场景起步，先把现场变成可信的空间事实，再让智能体参与现场决策与行动；以开放的协议、接口与数据契约，共同建设智能体可用的物理世界基础设施。

关键词 IoT4Agent 智能体 空间智能 空间事实 双脑 行动事务 瓴渡OS

1 智能体走进物理现场：新的基础设施缺口

1.1 智能体从对话走向行动

大模型让软件具备了理解目标、规划步骤和调用工具的能力，智能体由此开始承担连续的工作。在数字世界里，它操作的对象是文档、数据库和接口，状态可以随时查询，多数操作可以撤回。

物理现场的条件完全不同。对象是人员、设备、车辆、物料和空间；状态随时间连续变化，只有被感知时才会进入系统；动作一旦执行就会产生实际后果，例如断电、封控、派人到场。智能体要在现场做事，先要可靠地回答三个问题：现在发生了什么，发生在哪里，和谁有关。之后才能决定做什么、由谁来做、做完怎样确认。

1.2 现场对智能体的三重缺口

表 1-1 现场对智能体的三重缺口

缺口	现场表现	对智能体的影响
不可见	人员与移动资产缺少持续位置；设备与环境状态依赖人工抄录或间歇巡检；终端续航短，覆盖难以长期保持	看不到的对象无法纳入判断
不可信	数据分散在多个系统，对象标识与时间不统一；一条提醒说不清来源、采集时间、所在位置和设备版本	判断缺少证据，结论无法复核，责任难以界定
不可控	指令经电话、群消息和纸质工单传达，结果依赖人工反馈；权限与安全前置条件只写在制度文本里	无法确认指令是否送达、是否执行、效果如何

以大屏为中心的系统里，这些缺口由屏幕前的人补上：凭经验判断数据真假，打电话确认现场，事后手工整理记录。智能体没有这层缓冲，它需要的数据必须在接口层面就完整、可追溯、可操作。

1.3 同一组问题在不同行业反复出现

从环卫清运、设备租赁、仓储装卸到危化作业，行业对象不同，暴露的问题高度相似。

表 1-2 跨行业反复出现的五类问题

问题	典型现场	缺少的空间事实
等待	转运车辆在中转站排队；货车等待装卸；产线等待物料与维修人员	车辆、货物、月台与作业计划缺少统一时间轴
利用率	工程机械与移动医疗设备闲置与紧缺并存；人员有效工时不清	设备与人员的在场、在用与空闲状态
授权	受控区域谁可以进入；高压、动火等作业由谁执行	身份、资质与所在位置的实时对应关系
责任	事件发生时谁在场、谁脱岗；延误由哪一方造成	连续、可回放的轨迹与事件记录
结算	外包服务按工时、趟次与覆盖率结算；设备按有效工时计费	双方都认可的计量依据与证据链

过去，这些缺口多被当作效率问题，由管理手段和人工协调弥补。具备自主决策与执行能力的智能体加速进入物理现场之后，问题的性质变了：智能体无法用经验和电话弥补缺失的数据，现场需要一层专门为它建设的基础设施。

1.4 合规要求推动现场事实化

合规要求指向同一方向。以危险化学品行业为例，安全生产行业标准 AQ 3064.3—2025 对危化企业及化工园区的人员定位，提出了企业建设、技术和数据交换等方面的要求。人员、重点区域、作业许可和异常滞留，需要形成连续、可追溯的合规证据。这类证据服务监管，也正是智能体参与现场安全管理所需的输入。

CHAPTER 02

2 从「给人看」到「给智能体用」：IoT4Agent 的定义

2.1 定义

IoT4Agent (Internet of Things for Agents，为智能体而建的物联网)：以智能体为首要用户设计的物联网。它把现场的人、机、场、物持续转化为带证据的空间事实，以机器可读的接口提供给智能体，并为智能体发出的指令提供执行、回执与核验的通道。

人仍然是现场的决策者与责任人。IoT4Agent 改变的是分工：数据采集、事实整理、常规研判与任务跟踪交给智能体，人把精力放在授权、例外处理和结果负责上。

2.2 传统物联网与 IoT4Agent 对照

传统物联网 为人而建 · 数据流向屏幕，由人完成判断



IoT4Agent 为智能体而建 · 现场以事实形式开放，行动可核验

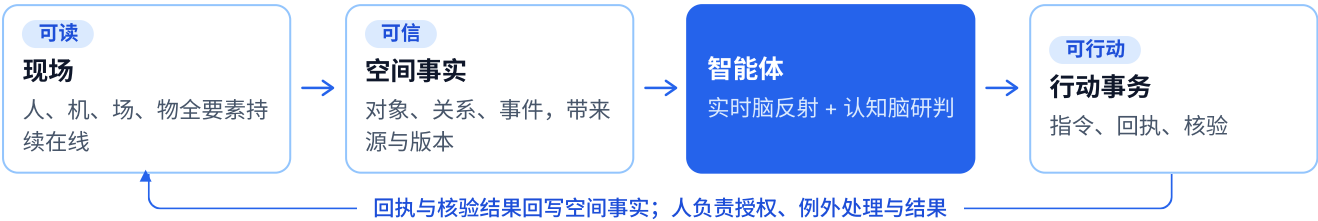


图 2-1 从「给人看」到「给智能体用」

表 2-1 传统物联网与 IoT4Agent 对照

维度	传统物联网：给人看	IoT4Agent：给智能体用
首要用户	值班人员与管理者	智能体，以及与之协作的人
覆盖方式	按项目布点，重点设备在线	人、机、场、物全要素持续在线，终端低功耗长期运行
数据形态	点位读数与曲线	由对象、关系和时空事件流组成的空间事实
可信程度	看得见即可，缺失与延迟由人判断	每条事实带来源、时间、位置与版本，缺失与冲突显式标注
语义表达	点位名称与设备编号，含义在人的经验里	统一物模型，含义可被程序查询
交互接口	大屏、报表与消息推送	查询、订阅、指令与回执组成的标准接口
决策与执行	人看屏判断，电话与工单派发，人工确认结果	双脑分工研判；指令带权限，以现场数据核验
演进方式	数据归档，复盘依靠人工整理	事件沉淀为经验与规则，部署越久系统越聪明

2.3 三项能力：可读、可信、可行动

- **可读 (Read)**：现场对象持续、低功耗、全要素在线，智能体可以随时查询任一对象的位置与状态，也可以订阅它的变化。
- **可信 (Trust)**：空间事实带有来源、时间、位置与版本，按现场对象、关系和时空事件流组织。智能体的每一项判断都能追溯到证据；事实被修订时，受影响的判断也能被找到。
- **可行动 (Act)**：确定性的反射由实时脑在毫秒级完成，需要理解与权衡的研判由认知脑在分钟级完成；结果以现场数据核验。

三项能力逐层依赖：缺少可读，事实无从建立；缺少可信，行动没有依据；缺少可行动，感知和研判只能停留在屏幕上。

2.4 设计原则

1. **事实先于智能**。先建立可信的空间事实，再引入模型与智能体。模型会迭代，事实底座持续积累。
2. **证据贯穿全程**。从原始信号到行动结果，证据一路传递，任何一次判断和行动都可以回放。
3. **确定性优先**。安全相关、时限敏感、判据明确的响应交给确定性规则，毫秒级执行，不依赖大模型；大模型负责需要权衡取舍的研判。
4. **行动即事务**。每条指令都经过权限与前置条件检查，结果以现场数据核验。
5. **人在回路**。按风险分级授权，高风险动作由人确认；人的确认、否决与修正同样作为证据记录。
6. **开放可替换**。协议、接口与数据契约开放，第三方终端与业务系统可以接入；模型、设备和部署环境可以替换。

3 参考架构：瓴渡OS 五层

3.1 总览

瓴渡OS 是 IoT4Agent 的参考实现。它自下而上分为五层：CELL 感知终端层、GRID 网络骨架层、PORT 空间事实接口层、CORE AI 智算与场景智能引擎、AXIS 数字孪生与实时调度平台，按职能归为感知、事实、计算、行动四段。



第三方终端可接入瓴渡协议上报数据、接收南向指令 · 第三方传感经 PORT 协议适配接入

图 3-1 瓴渡OS 五层参考架构与三项价值主张

一句话概括：先把现场变成可信的空间事实，再让 AI 参与现场决策与行动；部署越久，瓴渡OS 越聪明。

3.2 各层对智能体提供什么

CELL·感知终端层。 包括定位终端（工牌、手环、标签，室内信标与室外北斗双模定位）、传感终端（温湿度、气压、气体、振动、光照、门磁，能量采集或超长电池供电）和显示终端（电子纸）。所有终端共享自研 2.4G 私有协议，统一设备接入与身份管理；终端形态多样，协议与数据内核统一。显示终端在状态变化时由骨干网络下发内容并刷新。

GRID·网络骨架层。 室内、室外、车载网关与无线中继，支持多跳中继、自愈拓扑与边缘预处理；网关以 Wi-Fi 或以太网上行，DC 或 PoE 供电，并承担空中固件升级与分段 OTA，让大规模终端在部署后持续迭代。

PORT·空间事实接口层。 协议适配引擎接入瓴渡自有终端与第三方传感（Modbus、MQTT、HTTP）；数据标准化引擎完成清洗、对齐与语义映射，输出统一物模型；设备管理运维提供分段 OTA 与批量配置。PORT 是智能体读取现场的标准入口。

CORE·AI 智算与场景智能引擎。 空间语义引擎完成空间建模（物理空间 → 区域拓扑）与业务建模（语义绑定时空轴），输出带业务含义的时空事件流；实时脑·反射引擎以确定性规则毫秒级响应围栏、SOS、异常停留，联动震动、声光与推送，不依赖大模型；认知脑·推理引擎由 Harness 编排大模型，分钟级研判趋势、异常与优化建议，并持续反哺实时脑规则库。

AXIS·数字孪生与实时调度平台。 空间交互引擎提供 AI 建模、实时 3D 渲染、语义场景化标注、多源数据空间化叠加与区域智能拓扑；洞察操作台提供 AI 洞察、异常事件空间聚焦、安排流程触发与预案联动执行；多端协同与开放 API 覆盖 PC 指挥、移动巡检、IOC 态势与 API / Webhook，可集成 BMS、ERP、MES。第三方终端可以接入瓴渡协议上报数据、接收南向指令。

表 3-1 五层对智能体提供的能力

层	对智能体提供
CELL·感知终端层	对象的身份、位置与状态；现场的信息输出末梢（电子纸显示、震动、声光）
GRID·网络骨架层	可靠的上行数据通道与下行指令通道
PORT·空间事实接口层	统一物模型下的对象与事实，可查询、可订阅
CORE·AI 智算与场景智能引擎	带业务含义的时空事件流、确定性反射、研判与建议
AXIS·数字孪生与实时调度平台	调度指令下发、安排流程与预案联动、与业务系统的集成

3.3 与三项价值主张的对应

三项价值主张与 IoT4Agent 的三项能力一一对应。CORE 同时出现在后两项主张中：它把数据加工成可信的事实，也基于这些事实做出决策，事实与决策因此共用同一套证据结构。

表 3-2 三项价值主张与 IoT4Agent 能力的对应

价值主张	覆盖层	IoT4Agent 能力	含义
Sensing as a Service 持续感知	CELL + GRID	可读	感知作为持续服务交付，按对象与区域提供在线状态，协议与网络保障续航和送达
Source of Truth 可信数据底座	PORT + CORE	可信	统一物模型，成为智能体与业务系统共用的事实源
Sense to Act 双脑决策行动	CORE + AXIS	可行动	双脑研判，指令下发到人、设备与系统，回执与核验

4 关键技术

4.1 自研超低功耗 2.4G 私有协议

工牌、资产标签和环境传感器数量多、分布散，大多依靠电池供电，换电的运维负担决定系统能否长期运行。智能体还要把指令送回现场：紧急时让工牌震动、让电子纸刷新。续航与下行时效需要同时满足，这是瓴渡自研协议的出发点。

同一协议栈支持毫秒级紧急指令送达和空中固件升级：前者让实时脑的反射动作落到现场终端，后者让大规模部署后的终端分段升级、持续演进。协议栈是瓴渡硬件体系的核心资产：从真实场景的负载数据出发，先定义协议与功耗策略，再据此选择和裁剪模组与硬件。

表 4-1 系统级功耗实测

指标	数值	条件
睡眠电流	0.36 μ A	系统级实测，含 IMU 整机
平均电流	7.72 μ A	系统级实测，含 IMU 整机
峰值电流	3.91 mA	发射 / 接收瞬时功耗，同上测试
CR2032 纽扣电池续航	≥ 3.3 年 ¹	按实测平均电流推算，实际受环境、温度与配置影响

测试对象：自研 2.4G 私有协议固件，运行于真实硬件，含 IMU（惯性测量单元）整机，系统级实测，测试日期 2026 年 5 月 27 日。

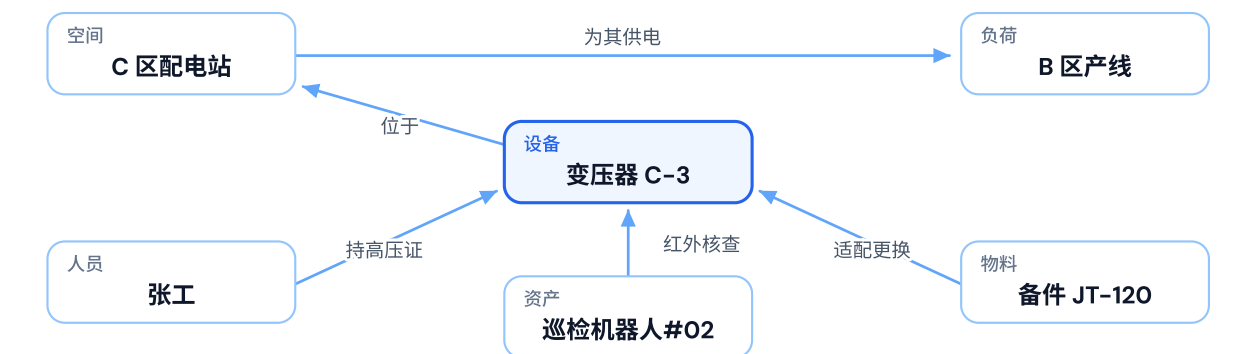
¹ 理论推算值：CR2032 标称容量 225 mAh $\div$ 实测平均电流 7.72 μ A。

4.2 空间事实

一条传感器读数只说明某个点位报告了某个数值。智能体需要的是空间事实：什么对象，在什么位置，于什么时间，处于什么状态，依据是什么。这些事实包含三类要素：

- **对象**：人员、设备、资产、物料、空间、负荷等，每个对象有唯一标识。
- **关系**：位于、供电、归属、持证、负责、依赖等，把对象连成可以推理的网络。
- **时空事件流**：进入、离开、停留、超限、恢复等，由空间语义引擎从原始信号提炼并绑定业务含义。

对象与关系



时空事件流



图 4-1 空间事实示例（按内核设计；示例取自第 5 章情境仿真）

空间建模与业务建模。 空间建模把物理空间组织为区域拓扑：园区、楼栋、楼层、区域、通道与围栏。业务建模把业务语义绑定到时空轴上。例如「人员离开作业区域」是一个空间事件，与「关键工序施工中」「该人员为本工序责任人」两项业务事实结合后，形成「责任人脱岗」这一带业务含义的事件，实时脑可以直接据此提醒和升级。

4.3 双脑

现场响应有两种时间尺度。人员闯入危险区域、SOS 求助、异常停留，需要立即判断并联动终端；设备趋势、多目标权衡、异常原因解释，需要关联更多信息，在分钟级给出结论。瓴渡OS 用两套引擎分别承担。

分工。 实时脑以确定性规则响应围栏、SOS、异常停留与阈值事件，云 / 边规则驱动，不依赖大模型，输出震动、声光、推送与联动控制。认知脑由 Harness 编排大模型，研判趋势、异常与优化建议，输出异常解释、调度建议、任务编排与用工报告。



图 4-2 双脑：实时脑反射与认知脑研判

认知成果沉淀为规则。 认知脑发现的规律，经人确认后转化为确定性规则，进入实时脑规则库。例如，认知脑从历史工单与运行数据中发现某批次接头在高负荷下容易过热，可以形成针对该批次设备的提前预警规则；此后同类情况由实时脑直接响应。系统由此随部署时间积累能力：**部署越久，瓴渡OS 越聪明。**

降级与兜底。 实时脑不依赖大模型运行。模型服务不可用时，围栏、SOS 等反射动作照常执行，安全底线不受影响。

4.4 开放接入

IoT4Agent 的价值随接入对象的范围增长。瓴渡OS 在南北两个方向保持开放。

按内核设计，面向智能体的接口按四类动作组织：**查询**对象、位置、状态与关系；**订阅**时空事件流；**下发**带权限的指令；**接收**回执与核验结果。四类动作规划封装为智能体的工具调用，供不同框架的智能体以统一方式使用。

表 4-2 开放接入方式

方向	方式	内容
南向·瓴渡协议	第三方终端接入瓴渡协议	数据通过瓴渡协议上报，接收瓴渡南向指令
南向·通用协议	第三方传感接入 PORT	Modbus、MQTT、HTTP，经数据标准化进入统一物模型
北向·智能体	空间事实接口与调度指令	空间事实查询与调度指令下发；事件订阅与回执按内核设计推进
北向·业务系统	API / Webhook	集成 BMS、ERP、MES 等系统，事件推送与业务回写
多端协同	人机界面	PC 指挥、移动巡检、IOC 态势

CHAPTER 05

5 全流程案例：一次园区设备过热事件（情境仿真）

情境仿真说明。 本章案例取自瓴渡OS 3D 演示「现场 Agent 调度」，为情境仿真（模拟实况）。园区布局、设备编号、温度、负荷、人员、距离、工单与经验数量等均为仿真数据，用于说明 IoT4Agent 的流程与架构，不代表某一真实项目的运行结果。

5.1 场景与角色

仿真园区包含五个区域：A 仓储、B 生产车间、C 配电站、D 调度中心、E 物流装卸，部署 46 路感知终端。「瓴渡OS·调度中枢」作为主 Agent，持续感知全域数据，基于空间事实研判、规划任务并下发指令，所有洞察与指令都从这里发出。它编排六个专业 Agent：**感知**（汇聚数据、识别异常）、**安全**（风险评估、围栏封控与疏散）、**巡检**（机器人与飞行器抵近核查）、**人员**（持证人员匹配、工单导航与 AOV 执勤记录仪回传）、**能耗**（分合闸、备用电源与负荷调度）、**复盘**（按现场对象汇总并生成报告）。

5.2 七个阶段

事件从 C 区配电站的一台变压器开始。图 5-1 展示七个阶段中各架构层的参与方式：数据自下而上汇入 CORE，研判在 CORE 完成，指令经 AXIS、GRID 自上而下送达现场。表 5-1 给出每个阶段的细节。

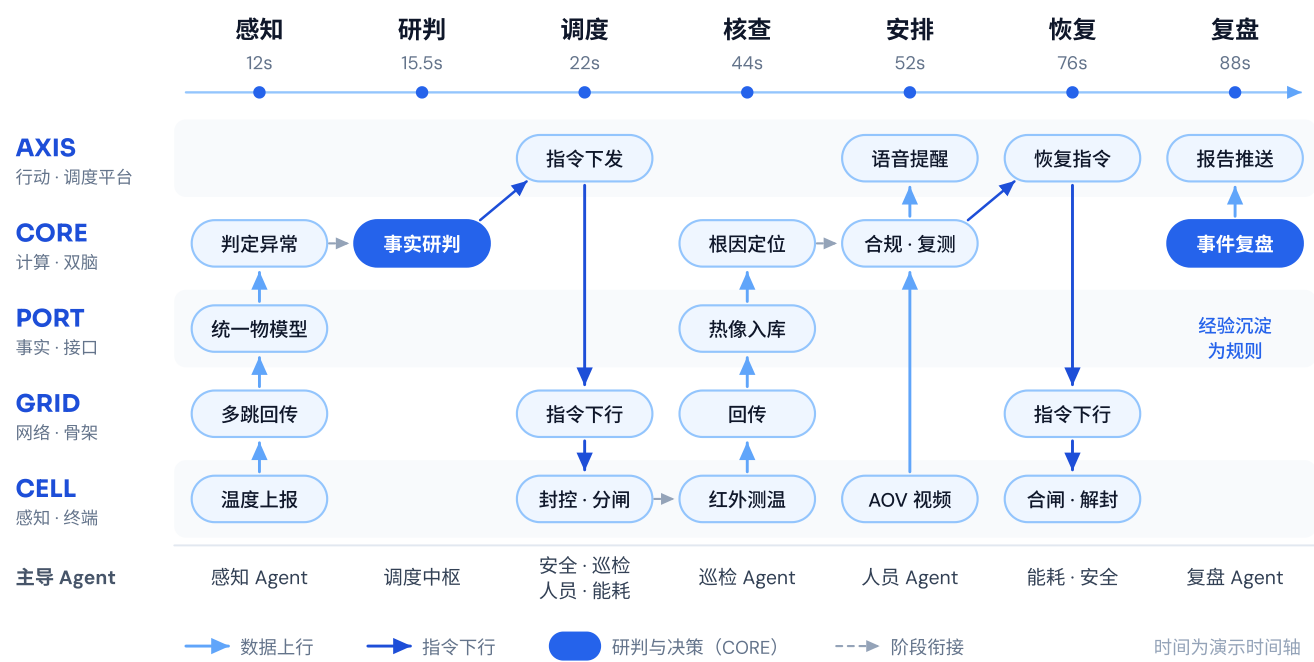


图 5-1 事件流程：阶段 × 架构层 × Agent（情境仿真）

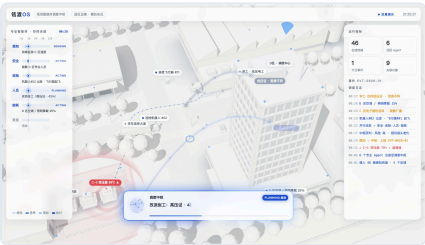
表 5-1 各阶段的 Agent、数据、判断、行动与架构层（情境仿真）

阶段	Agent	用到的数据	做出的判断	采取的行动	架构层
感知	感知 Agent	46 路终端时序；C-3 温度 78℃，高出运行基线 36℃	温度超阈值且持续上升，判为异常	上报事件 EVT-0928-01	CELL、GRID → PORT → CORE 实时脑
研判	调度中枢	关系：C-3 → C 区配电站 → 为 B 区产线供电；12 条同类工单	风险高：若持续升温，约 8 分钟后超过绝缘极限；疑似接头老化	拆解为 4 项并行任务	CORE 认知脑
调度	安全、巡检、人员、能耗 Agent	B 区负荷 1.2MW，备用电源 1.0MW；工卡定位与资质库；机器人路径；烟感与飞行器热像	缺口 0.2MW 需降载；李工（28m）仅持低压证，改派张工（高压证，42m）；货车占道需绕行；烟雾无明火	封控 C 区，疏散 3 人；D 区空调与照明降载 25%；工单推送张工；分闸 C-3，备用电源接管；机器人与飞行器出发	CORE → AXIS → GRID → CELL
核查	巡检 Agent	机器人#02 红外热像	接头热点 112℃，根因为接头老化；需更换备件 JT-120	AGV-03 从 A 区调拨备件	CELL → CORE → AXIS
安排	人员 Agent	张工 AOV 执勤记录仪第一视角视频；机器人红外	尚未挂接地线，不能作业；提醒后接地、验电、挂牌上锁完成；复测 41℃，紧固到位	语音提醒先挂接地线；全程监护维修	CELL → CORE → AXIS
恢复	能耗、安全 Agent	复测结果；区域人员与负荷状态	满足恢复条件	C-3 合闸 → D 区负荷恢复 → 解除封控；机器人与飞行器返航，人员返岗	AXIS → GRID → CELL
复盘	复盘 Agent	全过程证据与历史经验	同批次接头存在同类风险	生成报告；建议排查同批次接头 12 台，纳入预测性维护	CORE 认知脑 → 规则库

5.3 三处冲突与判断依据

仿真设置了三处现场冲突，共同说明一点：智能体的调度质量，取决于它能读到的事实。

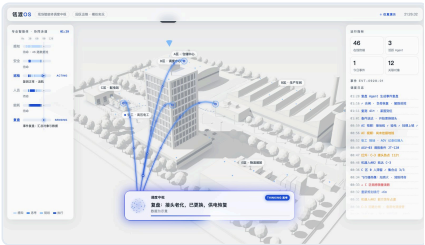
- **备用电源缺口。** 分闸 C-3 后，B 区产线需要由备用电源接管，而产线负荷（1.2MW）大于备用电源容量（1.0MW）。能耗 Agent 依据回路负荷与电源容量两项事实，对 D 区非关键负荷（空调、照明）降载 25%，在产线不停的前提下补足缺口。
- **资质不符改派。** 距离最近的李工只持有低压电工证。人员 Agent 在资质库中核对到这一点，否决该候选，改派持高压证、距离 42m 且空闲的张工。只按距离派单会派错人，授权事实让错误在派单之前被拦截。
- **货车占道与烟感读数。** 巡检机器人遇货车临停占道，巡检 Agent 重新规划绕行；C 区烟感出现微量读数，飞行器热像确认为绝缘油轻微过热冒烟、无明火，安全 Agent 保持消防待命。多源证据交叉核验，避免了过度响应。



调度·第 28.7 秒
否决李工、改派张工；货车占道绕行



安排·第 58.2 秒
AOV 回传，AI 提示尚未挂接地线



复盘·第 89.5 秒
复盘：接头老化，已更换，供电恢复

图 5-2 3D 情境仿真画面（演示「现场 Agent 调度」；AOV 视频分析、复盘自动生成报告为能力方向）

5.4 事件复盘

事件关闭后，复盘 Agent 按现场对象汇总：搜集了哪些数据，做出了哪些判断，参考了多少历史经验，采取了哪些行动。与「用时多少秒」这类单一指标相比，事件复盘保留了完整的因果链，每一条都能回到证据，也为规则沉淀提供原料。

表 5-2 事件复盘（情境仿真示例）

维度	数量	内容
现场对象	12 个	变压器 C-3、C 区配电站、机器人#02、飞行器#01、疏散人员 ×3、B 区产线、D 区负荷、李工、张工、备用电源、备件 JT-120、AGV-03
数据	6 类	46 路终端时序（温度 / 振动 / 烟感 / 门禁）；C-3 红外热像；C 区俯瞰热像；张工 AOV 视频；工卡定位与资质库；回路负荷与备用电源容量
判断	9 项	温度异常；风险高；电源缺口需降载；资质不符需改派；货车占道需绕行；烟雾无明火；根因为接头老化；未挂接地线需提醒；满足恢复供电条件
历史经验	17 份	同类过热工单 12 条、同型号变压器档案 3 份、高压作业 SOP 1 份、同批次接头更换记录 1 次
行动	11 项	封控与声光提醒；疏散 3 人；派遣机器人与飞行器；改派持证电工；D 区降载；分闸与备用电源接管；机器人绕行；AGV 调拨备件；提醒挂接地线；合闸与解除封控；报告推送至运维群

复盘给出的改进建议是：排查同批次接头 12 台，纳入预测性维护。这条建议经确认后，可以转化为实时脑中的提前预警规则。

5.5 与四项已可运行 AI 能力的对应

瓴渡OS 已接入模型、可真实运行的 AI 能力有四项：**异常解释、调度建议、任务编排、用工报告**。它们在案例中的对应位置如下；案例中的其它能力为情境仿真展示，属于架构支持的能力方向。

表 5-3 四项已可运行 AI 能力在案例中的对应

AI 能力	在案例中的对应环节	状态
异常解释	研判：把 C-3 温度异常与现场对象关系、同类工单关联，说明受影响对象（B 区产线）与判断依据	可真实运行
调度建议	调度：非关键负荷降载方案、持证人员改派、备件调拨	可真实运行
任务编排	研判至恢复：拆解为 4 项并行任务，明确分工、先后关系与恢复顺序	可真实运行
用工报告	复盘：汇总人员到场、签到签退与作业合规检查	可真实运行
多 Agent 协同泳道、AOV 视频 AI 分析、复盘自动生成报告	调度、安排、复盘	情境仿真；架构支持的能力方向

「可真实运行」指该能力已接入模型并可运行；表中环节为情境仿真中的对应位置，不代表该能力已在真实项目中按此流程部署。

CHAPTER 06

6 典型场景

以下六类场景来自瓴渡OS 的应用实践与方案设计，按「现场问题 → IoT4Agent 怎么解 → 智能体能做的动作」组织。

6.1 安全生产

现场问题
受控区域进出、作业票执行与异常滞留依赖人工巡查；外来人员流动大，事后追溯缺少完整记录。

IoT4Agent 怎么解
人员、设备与物资纳入定位与传感；受控区域、作业许可与人员资质构成现场对象关系；越界、超时滞留、异常聚集由实时脑即时识别。

智能体能做的动作
进场即核验授权；实时校验作业人员在岗、监护人在场、危险区域受控；双人作业时校验两名授权人员同时在位；违规时提醒并逐级升级，自动生成事件报告与合规证据。

6.2 资产管理

现场问题
台账与实物不一致，盘点靠人工逐件清查；高价值移动设备找寻耗时，闲置与紧缺并存。

IoT4Agent 怎么解
纳管资产实时位置可查；电子围栏管控高价值资产；使用频次、时长与周转率形成客观数据；入库、调拨全程留痕。

智能体能做的动作
由系统自动比对完成盘点；按区域查找最近的可用设备并建议调配；未授权移出时即时提醒并记入风险台账；生成调拨与采购建议。

6.3 履约监管

现场问题

巡检、保安、保洁等外包服务的在岗与覆盖难以核实，月度结算常有争议。

IoT4Agent 怎么解

人员佩戴定位工牌，空间锚点持续广播；工牌上班取用、下班放回智能充电盒；在岗时长、巡逻路线与区域覆盖率自动生成。

智能体能做的动作

识别漏巡、脱岗与超时并提醒；按合同口径汇总工时、达标情况与扣减依据；按月形成供应商履约档案，支撑续签评估。

6.4 工单运营

现场问题

派单凭经验，到场与完工靠口头确认，验收与考核缺少客观依据。

IoT4Agent 怎么解

工单位置与人员的位置、技能、状态关联；到达、停留、移动轨迹与作业范围全程可追溯；完工时刻与所在位置作为验收证据。

智能体能做的动作

按位置与资质匹配最近的可用人员派单；超时未到场时改派或升级；完工后核验位置与时间证据并归档；积累基线，支撑人员配置与服务水平优化。

6.5 应急管理

现场问题

突发事件发生时，指挥中心难以及时掌握人员分布与状态；集结核对与复盘依赖口述。

IoT4Agent 怎么解

全员位置与状态实时可见，重点区域人员密度自动统计；预案与区域拓扑、人员角色绑定；位置、时间、动作完整留痕。

智能体能做的动作

事件触发后按预案调度附近人员；核对集合点到达情况；联动广播、门禁与声光设备；实战与演练数据回流预案库，持续优化预案、流程与人员配置。

6.6 城市服务

现场问题

环卫清运、市政巡查等作业点多面广，车辆与人员调度靠经验，作业过程难以核查。

IoT4Agent 怎么解

车辆、人员、站点与设施状态持续在线；作业轨迹与区域覆盖可核查；定向与无定向巡查统一纳入任务体系。

智能体能做的动作

按需收运与站点排队分流；巡查任务调配与紧急情况响应；趟次与覆盖率自动统计，支撑考核与结算。

CHAPTER 07

7 安全、可信与治理

智能体在现场行动，系统的错误会直接产生物理后果。IoT4Agent 在架构设计阶段就纳入安全与治理要求；本章所述机制为瓴渡OS 的设计要求，按工程验证逐步落实。

7.1 数据最小化与权限域

- **按任务需要采集。** 定位精度、采样频率与保存周期按场景目的设定；区域级位置能满足需求时，不采集更细粒度的轨迹。
- **权限域划定边界。** 设计上，每个智能体、用户与外部系统都有明确的权限域，规定可读取的对象范围与可执行的动作集合。
- **分级存储与脱敏。** 人员身份、生理指标等敏感数据按级别存储与展示，对外接口默认脱敏。

7.2 证据链、回放与审计

瓴渡OS 内核对证据链的设计要求：

- 任一判断与行动都可以沿证据链下钻到原始记录。
- 采集时间与到达时间分别记录，保证回放顺序与现场一致。
- 规则版本、模型版本与运行配置随记录保存，事后可以复现当时的判断条件；事实修订按依赖关系传播，受影响的判断与报表被标记并更新。

7.3 人在回路与分级授权

智能体的动作按风险分级授权（表 7-1）。未在时限内得到响应的事项自动升级；人的确认、否决与修正都作为证据记录，并成为规则优化的输入。

表 7-1 行动分级授权（建议做法）

等级	动作类型	示例	授权方式
一级	信息类动作	提醒、通知、生成报告与建议	智能体自动执行，全程留痕
二级	可逆的现场联动	声光提醒、电子围栏启用、非关键负荷卸载	按预案自动执行，值守人员可随时撤销
三级	高风险或不可逆操作	分合闸、解除封控、恢复供电	人工确认后执行；预案已明确授权的紧急情形，执行后立即告知

7.4 模型可替换

大模型与专用判别模型是被调用的计算能力。瓴渡OS 沉淀统一的输入输出契约、证据结构与运行策略；模型版本升级或部署环境变化时，上层业务契约保持稳定，安全相关的反射始终由实时脑兜底。

7.5 隐私与合规

- 人员定位涉及个人信息。部署前应明确告知采集目的、范围与方式，遵循《个人信息保护法》等法律法规的最小必要与目的限定原则。
- 采集限定在工作时段与工作区域：工牌上班取用、下班放回充电盒，定位与工作时间对应。
- 面向危化等行业的合规要求（如 AQ 3064.3—2025 对人员定位的建设、技术与数据交换要求），空间事实与证据链可以直接用于形成合规记录。
- 数据存储位置、保存期限与对外交换范围，按项目所在行业与地区的合规要求确定。

8 落地路径与开放生态

8.1 从一个场景起步

IoT4Agent 不需要一次建成。建议选择一个高频、痛点明确、效果可以衡量的场景起步，分五步推进（表 8-1）。

每一步都独立产生价值：第一步让现场可见，第二步让数据可用，第三步开始减少人工响应；到第四步引入智能体时，事实与规则已经就绪。

表 8-1 从一个场景起步的五步步骤

步骤	主要工作	完成标志
① 部署感知网络	按场景部署终端、网关与中继，接入既有设备与系统	关键对象持续在线，数据完整送达
② 建立空间事实	空间建模与业务建模，统一物模型，接通证据链	核心业务问题可以用空间事实回答
③ 规则化反射	把判据明确的管理要求配置为实时脑规则，联动终端与工单	常见异常由规则自动响应
④ 引入认知与 Agent	接入异常解释、调度建议、任务编排、用工报告，逐步扩展多 Agent 协同	建议被采纳，成果沉淀为规则
⑤ 复制推广	沉淀行业模板与规则包，复制到更多站点与场景	新站点按模板部署，经验跨站点复用

8.2 开放生态

- **终端开放。** 第三方终端可以接入瓴渡协议，数据通过瓴渡协议上报，接收瓴渡南向指令；专业设备与环境传感通过 Modbus、MQTT、HTTP 接入。
- **接口开放。** 面向业务系统提供 API / Webhook，可集成 BMS、ERP、MES；面向智能体的查询、订阅、指令与回执接口及 SDK 按内核设计规划推进。
- **能力共建。** 行业模板与规则包可以复用与共建，伙伴可以基于瓴渡OS 交付行业方案。
- **契约稳定。** 按内核设计，证据结构、事件格式与回执格式将以稳定契约的形式提供，便于不同智能体框架对接。

9 结语：空间智能，先知先行

智能体进入物理世界的速度，取决于物理世界向智能体开放的程度。过去，物联网让设备连上网络、让数据进入大屏；下一阶段，它需要让现场对智能体可读、可信、可行动。瓴渡OS 的实践给出三点体会：

- **事实是智能的前提。** 持续、低功耗的感知与带证据的空间事实，决定了智能体看得多全、判断得多准。
- **确定性是信任的起点。** 判据明确的响应交给规则，大模型负责研判与提炼，系统因此既可靠又能成长。

- **核验是价值的落点。** 指令经过回执与核验，才算真正改变了现场。

我们倡议行业伙伴共同推进 IoT4Agent：

1. **以空间事实为共同语言。** 统一描述对象、关系、事件与证据结构，让不同厂商的终端与不同框架的智能体互通。
2. **以证据和回执为行动基础。** 智能体在现场的每一次行动都应有依据、有回执、可核验、可回放。
3. **以开放协议与接口连接生态。** 终端、系统与智能体经开放接口接入，经验以模板与规则共享复用。

空间智能 先知先行 Sense to Act

APPENDIX A

附录 A 术语表

表 A-1 术语表

术语	英文	释义
IoT4Agent	Internet of Things for Agents	为智能体而建的物联网，使物理现场对智能体可读、可信、可行动
空间事实	Spatial Fact	带有对象、状态、位置、时间、来源与版本的现场事实
实时脑	Reflex Engine	以确定性规则毫秒级响应的反射引擎，不依赖大模型
认知脑	Reasoning Engine	由 Harness 编排大模型、分钟级研判的推理引擎
Harness	Harness	编排大模型、工具与数据的运行框架
行动事务	Action Transaction	从决定到执行、回执与核验的受控状态转移
权限域	Permission Domain	规定可读对象范围与可执行动作集合的授权边界
人在回路	Human-in-the-Loop	关键判断与高风险动作由人确认的机制
AOV 执勤记录仪	—	佩戴式执勤记录仪，可回传第一视角视频；视频 AI 分析为架构支持的能力方向
三项价值主张	Sensing as a Service · Source of Truth · Sense to Act	持续感知（CELL + GRID）、可信数据底座（PORT + CORE）、双脑决策行动（CORE + AXIS），分别对应可读、可信、可行动

附录 B 数据与测试条件说明

表 B-1 数据与测试条件

数据	数值	条件与口径	性质
睡眠电流	0.36 μ A	自研 2.4G 私有协议固件，真实硬件，含 IMU 整机，系统级测试，2026 年 5 月 27 日	实测
平均电流	7.72 μ A	同上	实测
峰值电流	3.91 mA	发射 / 接收瞬时功耗，同上测试	实测
CR2032 续航	$\geq$ 3.3 年	按实测平均电流推算：225 mAh $\div$ 7.72 μ A；实际续航受环境、温度与配置影响	理论推算
第 5 章案例数字	46 路终端、78°C、12 条工单、0.2MW 等	瓴渡OS 3D 演示「现场 Agent 调度」	情境仿真

本白皮书只引用上表中的数据，并随文注明条件。除此之外，不引用其它业绩、市场或商业数字；标准编号与年份仅用于标明出处。

本白皮书用于说明 IoT4Agent 理念与瓴渡OS 参考架构。产品能力以瓴渡OS 当前版本为准；标注为情境仿真或能力方向的内容不代表已上线功能，具体功能与指标按项目配置和实测确定。



瓴渡科技 | lindos.cn | contact@lindos.cn
空间智能 先知先行 | Sense to Act