

XR与空间智能：数据、基础设施与治理

VR、AR、MR研究专题

汇报人：

汇报日期：2025年12月25日

执行摘要：重新定义XR的战略价值

XR（扩展现实）的战略意义已超越“下一代显示器”。它正成为大数据与人工智能进入物理世界的关键接口。

XR作为超级传感器集群

实现物理空间与人类感知的全面数字化，驱动下一代“空间智能”的爆发。

数据飞轮效应

XR数据训练AI，AI生成虚拟内容反哺XR，形成强大的生态循环。

PB级基础设施需求

支撑海量多模态数据流，对边缘计算和存储架构提出更高要求。

技术简述：构建数据的采集终端

现代XR设备本质上是部署在人体头部的精密扫描仪。技术演进的重点不再是“看得清”，而是“采得准”。

1

环境感知 (SLAM)

通过多颗分布式摄像头和高频IMU（1000Hz+）实时构建环境的稀疏点云或稠密网格，实现**厘米级定位**。



2

意图捕捉 (EMG)

Meta Orion等肌电图（EMG）腕带捕捉肌肉微弱电信号，将数据采集颗粒度深化至“神经意图”，实现**“负延迟”交互**。



3

眼动与面部追踪

内向摄像头高频记录瞳孔和注视点。数据不仅用于渲染，更是用户**注意力与认知负荷**的直接量化指标。



XR数据爆发：空间大数据 (SPATIAL BIG DATA)

XR设备产生的数据在体量（Volume）、速度（Velocity）、多样性（Variety）上远超传统设备，形成了全新的“空间大数据”范畴。

1.0–2.35

瞬时带宽需求

高质量VR/MR流媒体所需的实时数据吞吐量。

3–20

单机持续生成率

单台XR设备每小时产生的未压缩视频流、深度图和日志数据量。

1000

IMU采样频率

高精度惯性测量单元（IMU）采集数据的频率，保证定位精确性。

这些多维度的传感器数据，为AI训练提供了前所未有的、与物理世界同步的“第一人称”语料。

多模态数据资产：从点云到生物测定

XR数据资产可细分为三类核心资产，对应着大数据处理的不同挑战和价值。



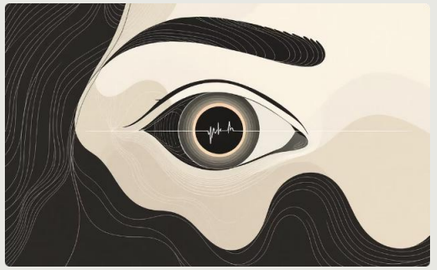
A. 空间映射数据

从传统Mesh向**3D高斯泼溅 (3D Gaussian Splats)**演进，实现对物理世界光影细节的逼真复刻，是数字孪生的底座。



B. 行为与交互数据

第一人称视角记录用户如何操作工具或与人互动，揭示**“手–眼–物”**协同关系，是稀缺的AI训练资源。



C. 生物测定数据

瞳孔直径（认知负荷）、面部微表情（情绪）和EMG信号（运动指令），构成用户的**“生物数字化身”**。

XR驱动AI进化：空间智能与LWM

XR填补了现有AI缺乏对物理世界直观理解的空白，是实现“空间智能（Spatial Intelligence）”的关键推动者。

训练“大世界模型”（LWMs）

XR采集的第一人称视频（Egocentric Video）包含深度、位姿和物理交互信息，教会AI模型理解**三维空间、物体恒常性和物理因果律**。

具身智能（EMBODIED AI）加速器

Ego-Exo4D等数据集正在训练下一代机器人模仿人类操作。XR生成的逼真虚拟环境为机器人提供了**低成本Sim-to-Real**（仿真到现实）训练场。



数据飞轮：生成式AI反哺XR

AI不仅消费XR数据，也通过生成高质量内容反哺XR生态，形成可持续增长的“数据飞轮”。

1. XR采集多模态数据

海量高保真数据流进入系统。



2. AI训练LWM与具身模型

模型学习物理、空间和行为逻辑。

3. AI生成复杂3D内容

通过Text-to-3D等技术，解决内容匮乏痛点。

4. 体验升级，吸引更多用户

丰富的AI生成内容提升XR体验，促进更多数据采集。

大数据基础设施：适应空间计算的架构

处理XR带来的海量、实时、异构数据，要求架构从处理二维数据向处理三维空间数据转型。

XR设备层

采集三维空间与多模态传感数据

包括头显、传感器、EMG腕带等

特点：高精度输入，实时传输

边缘计算层

低延迟实时处理与本地AI推理

数据预处理，支撑分离式渲染

关键指标：端到端延迟 < 20ms

云端层

大规模AI模型训练与优化

海量数据存储与分析

提供全局服务与弹性伸缩

通过分离式渲染（Split Rendering）和移动边缘计算（MEC），确保**端到端延迟低于20毫秒**。

核心技术支撑：存储与检索

在空间计算时代，我们需要从关键词搜索转向**语义检索**，以高效处理3D数据。

→ 向量数据库 (VECTOR DBS)

3D物体、纹理、场景特征被转化为高维向量。AI能够通过自然语言快速检索三维空间数据（如：“找到所有类似这把椅子的物体”）。

→ TileDB 专用存储

针对稀疏/稠密多维数组优化，特别适合存储激光雷达点云和**3D高斯泼溅**数据，解决了传统文件系统的查询效率问题。

→ Apache Sedona 空间计算

扩展了Spark/Flink以支持大规模空间数据的分布式处理（Spatial SQL），用于分析XR设备产生的海量轨迹数据和地理空间信息。



挑战：数据隐私与治理前瞻

随着XR技术日益深入物理世界数字化，我们正面临前所未有的数据隐私和治理挑战。如何平衡技术创新与个人权利，是确保XR健康发展的关键。



神经权利立法

智利等国将“神经数据”列为敏感数据，要求严格的“选择性加入”机制，保护精神隐私权。



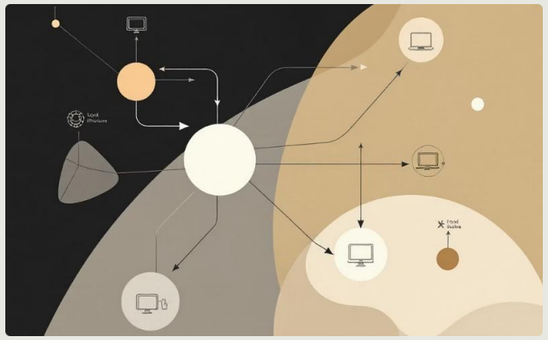
数据所有权与商业伦理

XR用户行为、偏好及空间数据的所有权和商业化模式需明确，建立透明的数据使用协议，确保个人对其数字足迹的控制权。



生物特征数据安全防护

XR设备收集的眼动、心率等生物特征数据高度敏感，面临滥用风险。需采取消敏化、端到端加密等技术，构建多层次安全防护体系。



联邦学习

模型在本地微调，仅上传参数，在保护隐私的同时利用分布式XR算力，实现跨机构或多用户间的协同训练。

总结：物理世界全面数字化

XR是连接比特世界与原子世界的最终桥梁。XR正将人类感官、行为与物理环境转化为可计算、可训练的数据资产，实现物理世界的全面数字化。

XR数据驱动AI进化

XR生成的海量高质量、多模态时空数据将成为下一代AI模型（尤其是具身AI和多模态大模型）训练的关键"燃料"，加速AI从感知智能向认知智能和行动智能迈进。

空间智能产业新机遇

物理世界数字化将催生全新产业生态：包括数字孪生城市运营、智能制造、虚拟协作、沉浸式教育与医疗等。从硬件设备、平台软件到内容服务，都蕴藏巨大商业潜力。

技术与伦理的平衡之道

随着技术能力边界的拓展，如何平衡技术创新与社会责任、个人隐私与公共利益将成为核心议题。需要多方协作，共同构建负责任、可持续的XR发展范式。

未来5年关键里程碑

预计未来五年，XR设备将进一步轻量化、普及化；空间计算平台将实现跨设备、跨平台的互联互通；AI驱动的数字人与虚拟内容创作将达到高度真实感，加速物理世界数字化的进程。