

元宇宙概念比较



数字孪生

- 虚实映射思想：对物理实体进行精准虚拟映射
- 核心技术：人工智能，通信技术，边缘计算
- 应用：医疗，工业，交通，通信，制造



元宇宙

- 数字空间思想：虚实融合数字空间
- 核心技术：人机交互，数字孪生，算力网络，区块链，人工智能，边缘计算
- 应用：教育，医疗，旅游，金融等，但具体形态在发展中

Web³

Web 3.0

- 新一代互联网思想：去中心化及用户为中心的互联网
- 数据：可读可写可授权
- 核心技术：区块链，NFT
- 应用：互联网上应用

元宇宙6大特征 (1/2)



分布式

- 多个元宇宙以避免数字霸权
- 分布式元宇宙需要区块链技术支持



虚实融合

- 连接所有虚实节点
- 虚实物体实时同步
- 计算、通信、存储、算力融合



数字资产泛化

- 数据，数字藏品，和数字模型均为数字资产
- 创建、使用和共享需要安全隐私机制

元宇宙6大特征 (2/2)



无物理限制

- 无限数字空间资源
- 多维感知: 视-听-触-嗅-X 多维感知



开放性

- 公平性包容性社区
- 开放友好创造平台
- 跨设备无差别访问



多维安全

- 多维数字资产的安全都写共享及所有权
- 多维虚实空间: 物理-数字-环境-人-X 安全融合

分布式元宇宙



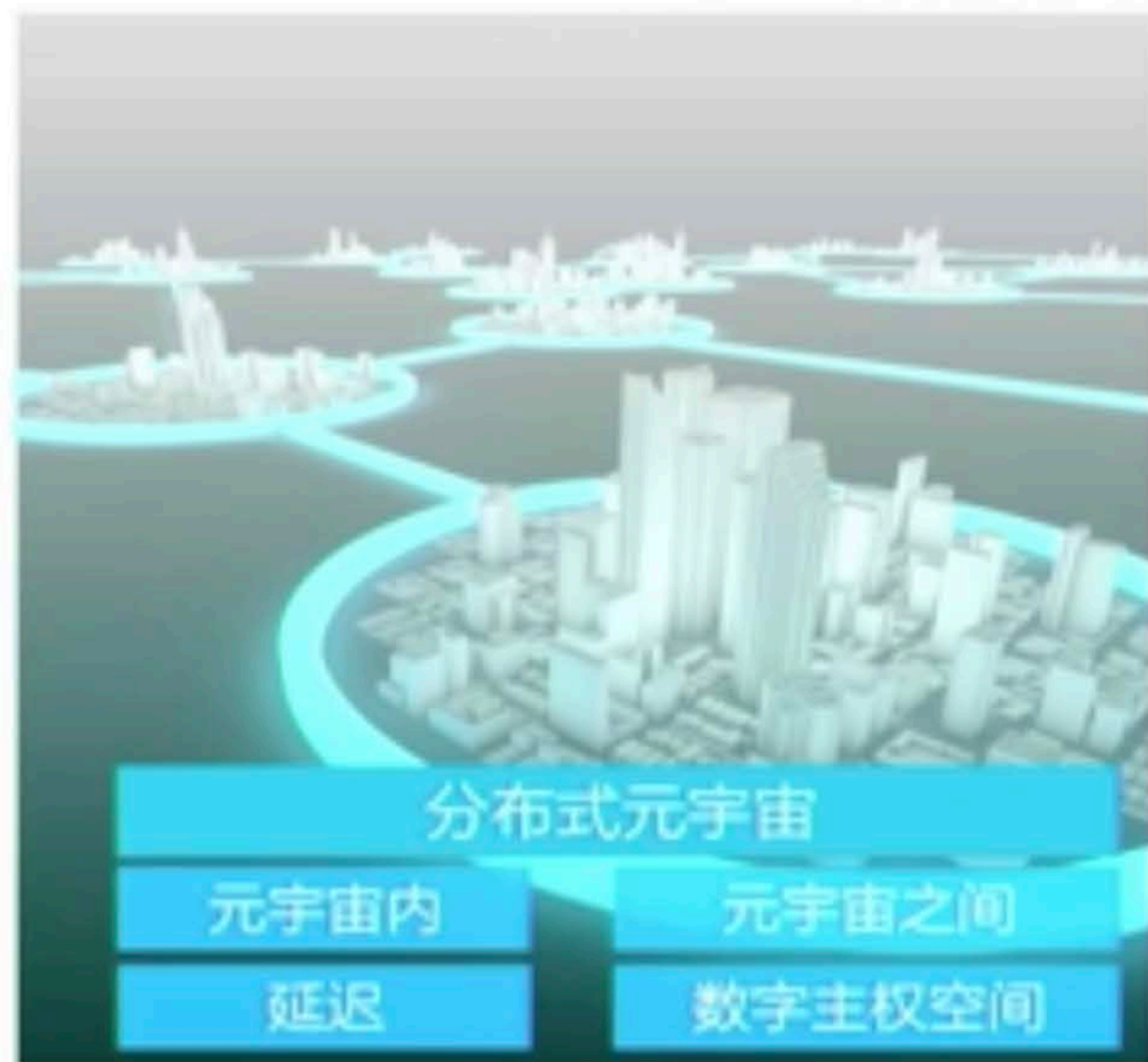
非单一全球元宇宙

- 多个元宇宙以避免数字霸权，每个国家有自己的数字主权，数字空间和元宇宙
- 分布式元宇宙需要分布式技术支撑：区块链，边缘计算，人工智能
- 虚实物体同步：计算、通信、算力融合



关键问题

- 实现去中心化元宇宙
- 数字人分布式信任
- 区块链服务元宇宙内外连接
- 绿色可持续元宇宙





虚实融合带来的优势

- 精准映射与一致表征
- 特征挖掘与态势预测
- 突破时\空\资源限制
- 自我更新与持续演进



关键问题

- 物理实体与虚拟模型的互操作
- 数字虚拟模型的动态分组
- 一致性平台支撑虚实安全同步

1. 建立数字孪生库

2. 改变物理实体状态



3. 数字模型的动态分组



新的数字资产

- 个人数据，数字藏品
- 数字虚拟模型，数字孪生模型
- 元宇宙中安全有效数字模型共享
- 基于数字身份的交易无法篡改



关键问题

- 跟踪元宇宙中数字虚拟模型的使用
- 实现元宇宙中数字模型的分布式演进
- 建立数字资产安全交易共享统一平台
- 区块链支撑元宇宙中数字金融



元宇宙带来的变革



新型互联网

- 二维移动互联网→虚实融合三维互联网
- 中心式互联网→去中心化互联网Web3.0
- 用户被动互联网→用户为中心的互联网



算力基础设施

- 算力有限→算力无限
- 算力独立→算力共享
- 中心算力→智能终端
无线算力+边缘算力+
中心云算力

web³

创新数字平台

- 突破时空限制的共享协作虚实空间
- 未来全新数字平台的行业应用场景开发
- 新型虚拟市场

4大技术挑战



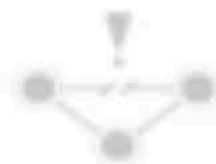
效率

- 效率性能指标多样化：时间、空间、计算、频谱、能量、存储、共识等
- 超低时延实时需求
- 计算通信能量效率



虚实融合

- 物理空间到高保真数字空间构建
- 虚拟空间对物理空间精确操作预测



自适应

- 智能终端：异构数目巨大
- 资源：动态时变且不平衡，如算力、频谱、存储



安全

- 信息数据安全
- 安全虚实空间交互
- 数据隐私权及个人数据所有权保护

元宇宙关键技术



元宇宙关键技术

元宇宙的基础关键技术：数字孪生



- 数字孪生: 元宇宙构建的基石/关键驱动技术, 链接物理空间与元宇宙虚拟空间的中间纽带
- 元宇宙空间: 由各式各样的数字孪生体构成, 相互连接与作用, 构成元宇宙网络

元宇宙的基础关键技术：区块链



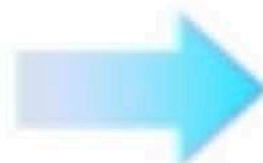
元宇宙

- 连接所有虚实节点
- 实时动态更新数据
- 数字孪生模型存在
- 不受物理空间限制



区块链

- 交易实时认证共识
- 隐私保护和安全
- 分布式资源交易
- 分布式账本及共识



挑战

- 安全性：节点安全连接及安全智能合约
- 效率：共识效率可能成为交换应用的瓶颈
- 映射：映射服务完全数字化虚拟化

元宇宙的基础关键技术：边缘智能



元宇宙中的边缘智能

- 处理物理世界的大数据构建虚拟世界
- 建立高保真数字虚拟空间模型和参数
- 共享边缘网络算力支持超低时延任务



关键问题

- 多样性数据中高质量数据及模型选择
- 分布式模型训练和虚拟空间建立
- 数字孪生边缘网络 (Digital Twin Edge Networks, DITEN) 支持元宇宙实时数据及任务处理



元宇宙的基础设施：6G通信网络



人机交互智能终端



通信网络的作用

- 分布式元宇宙的信息传输管道
- 接入海量人机交互的智能终端
- 提供低时延高可靠高带宽服务



关键问题

- XR, VR, MR需要低时延服务
- 支持“视-听-触-嗅-X”多维感知
- 通信、计算、存储、共识4C 优化

元宇宙的基础设施：算力网络



元宇宙中的算力需求

- 元宇宙中多样化服务需要大量算力
- 算力网络通过协调异构算力节点资源，支持元宇宙低时延计算任务



关键问题

- 多种计算任务并存的算力协同策略
- 计算任务的资源自适应配置
- 社交感知的元宇宙协同计算

算力网络

安全

共享

算力协同

基础设施



典型实例：数字虚拟人



热点问题

- 数字虚拟人：建立精准孪生人体健康模型，准确预测健康状况
- 隐私保护：孪生数据包括健康数据，病历数据等隐私
- 医疗资源优化管理与优化分配



新应用模式

- 健康码：个性化医疗保障
- 孪生病患：监测病患的身体状态，预测并阻止病情恶化
- 高难度手术：孪生人体手术模拟

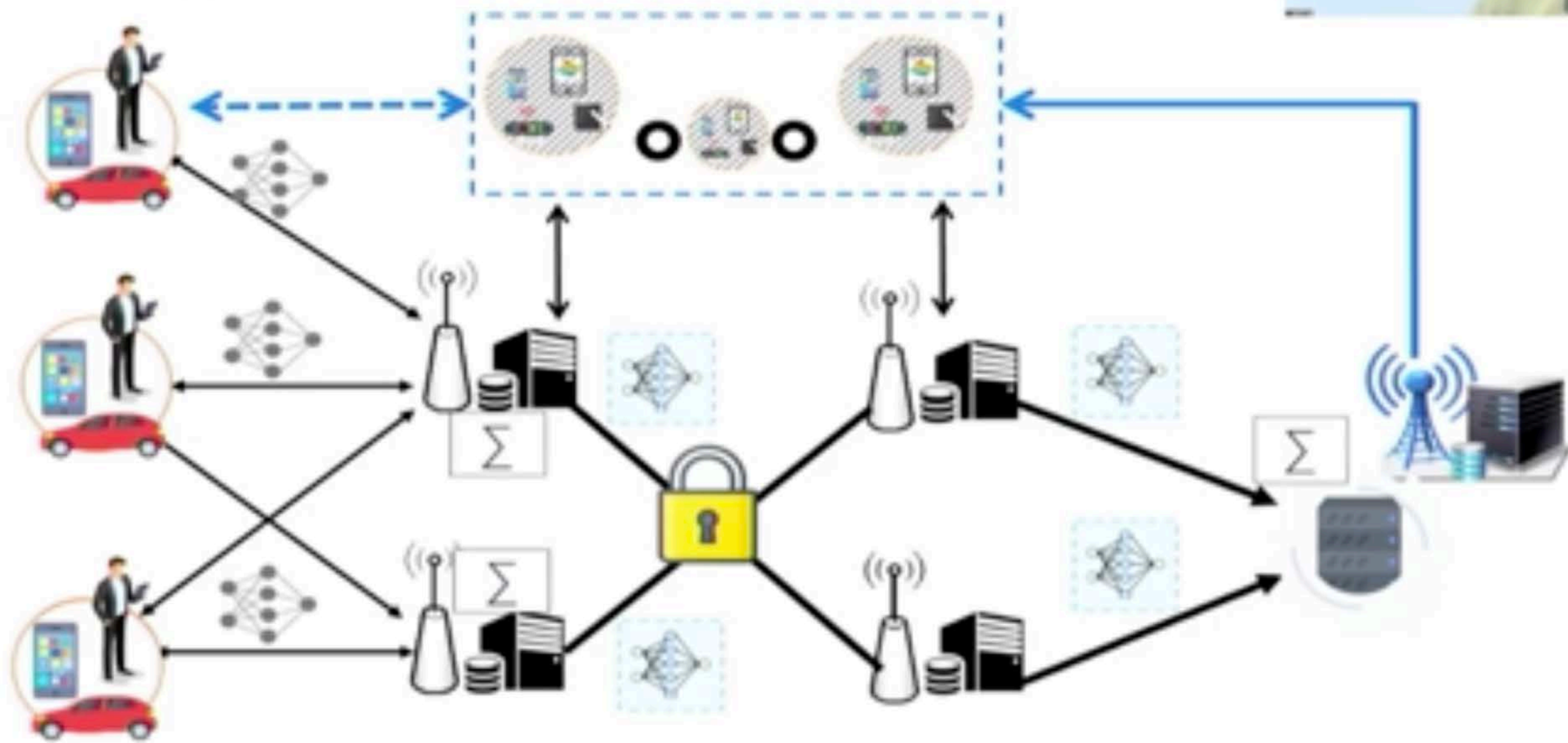


数字孪生体生命周期的三大关键步骤



1

数字孪生体的建立



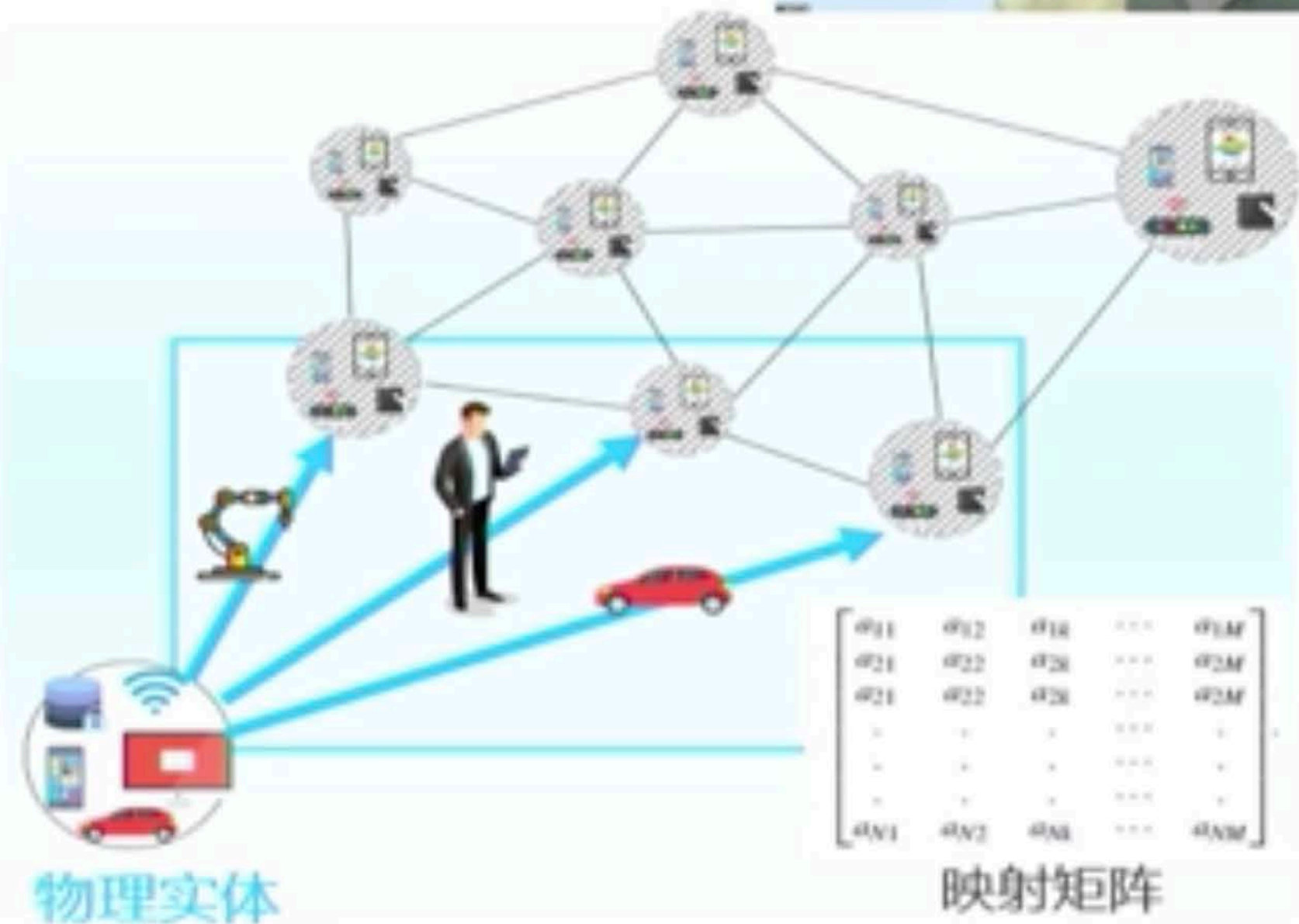
数字孪生体的优化部署 (2/3)

- 数字孪生的优化部署目标：将物理设备时延最小化映射到边缘服务器中的数字孪生体
- 定义：对于物理实体 i ，选择目标边缘服务器 j ，部署数字孪生模型以达到时延最小

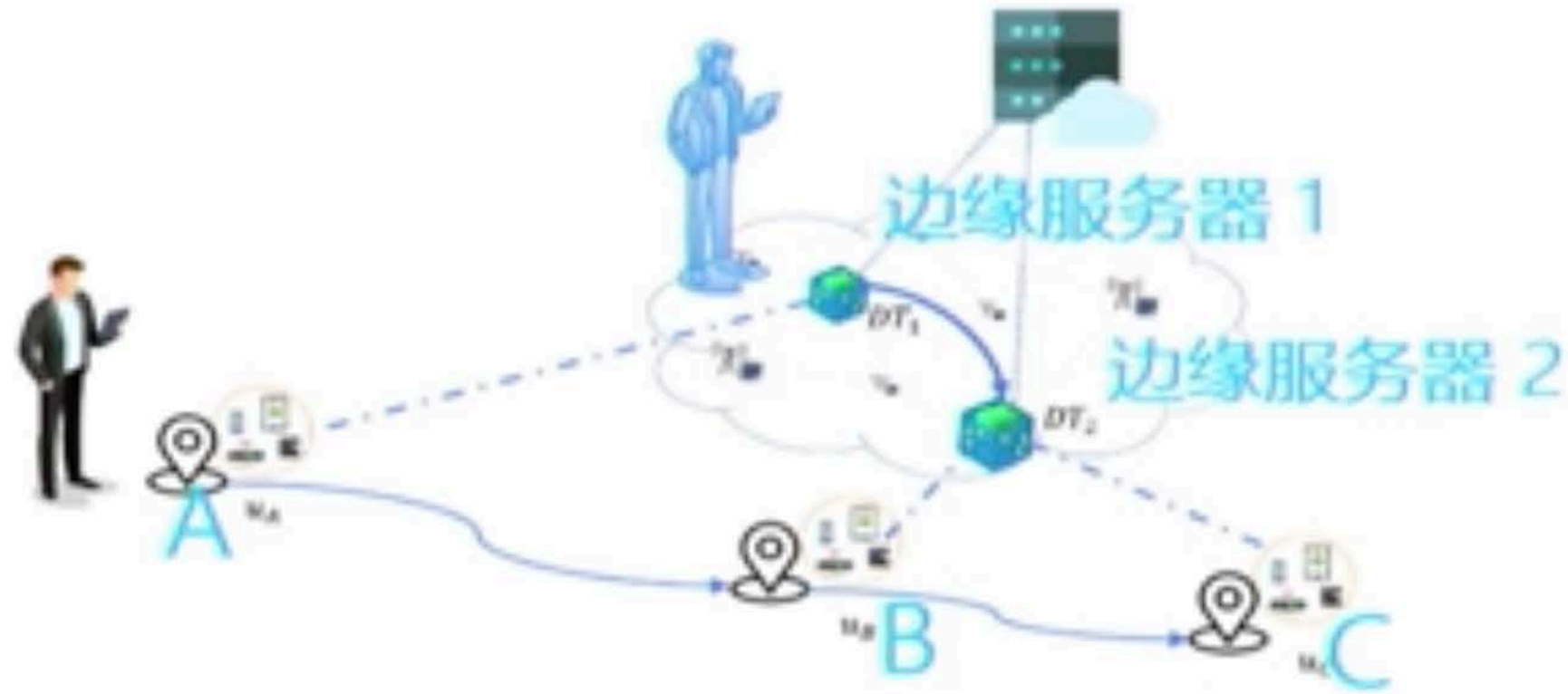
$$\min_{pl,a} T$$

映射矩阵
部署方案

- 映射矩阵：
 - $a_{ij} = 1$, 物理实体 i 的数字孪生体部署在边缘服务器 j ; 否则 $a_{ij} = 0$



数字孪生体的迁移 (3/3)



热点问题

- 数字孪生体跟随物理实体移动
- DT动态迁移来满足时延敏感型服务

物理空间和数字空间相互作用

- 数字孪生预迁移来满足服务的实时性要求
- 数字人移动性管理方案中DT反馈系统级数字孪生



数字孪生体的迁移

- 数字孪生迁移: 找到新的部署数字孪生的最优边缘服务器, 并将DT模型迁移至该边缘服务器
- 目标: 找到新的最优边缘服务器, 最大化联合考虑时延和能耗的用户效用函数

$$\max_a U(u_i) = \beta e^{\overbrace{T_{ui} - T_{ui}(t)}^{\text{需求时延与实际延迟之间的差值}}} - (1 - \beta) E_{ui}(t)$$

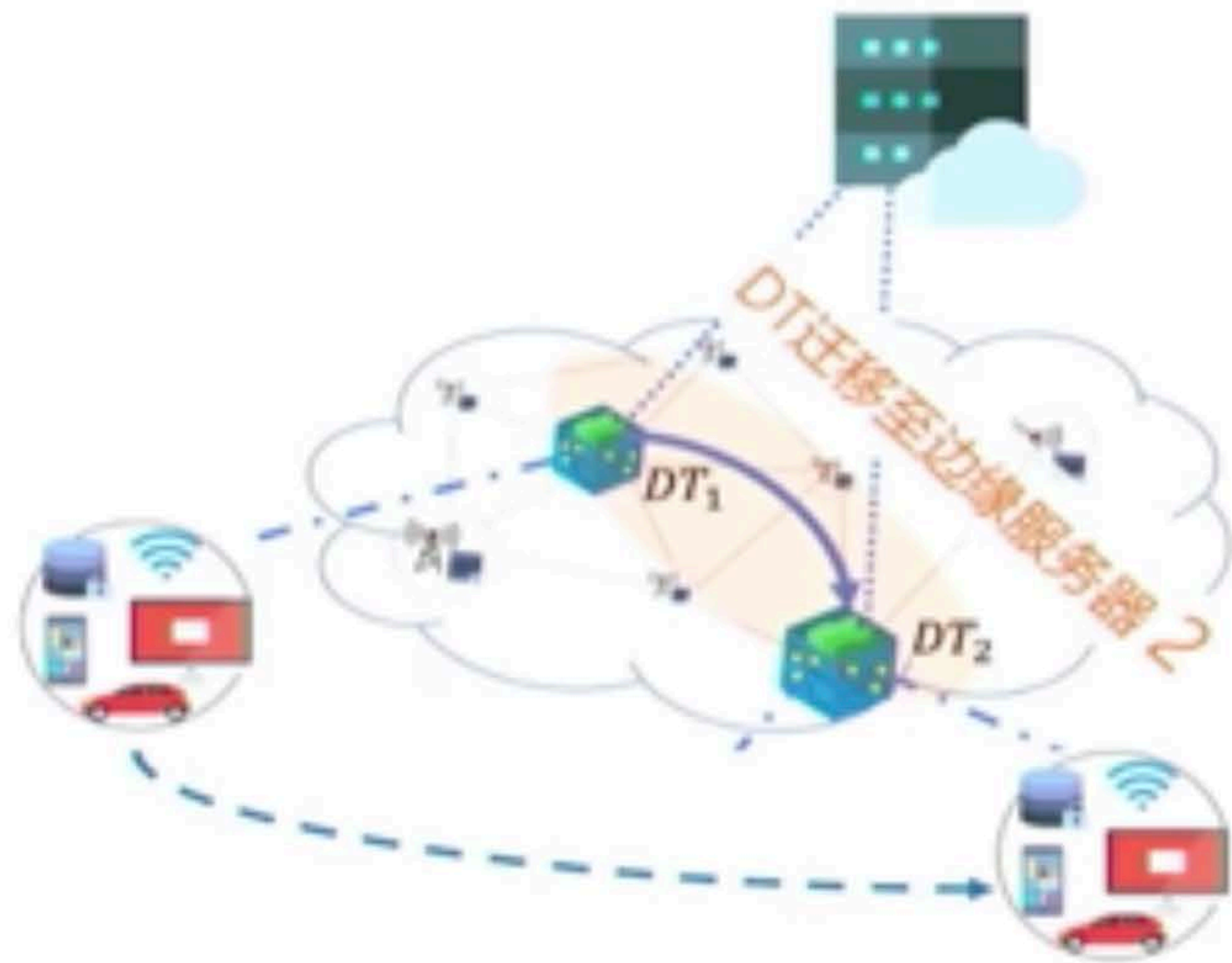
需求时延与实际延迟之间的差值

其中用户 i 的能耗为

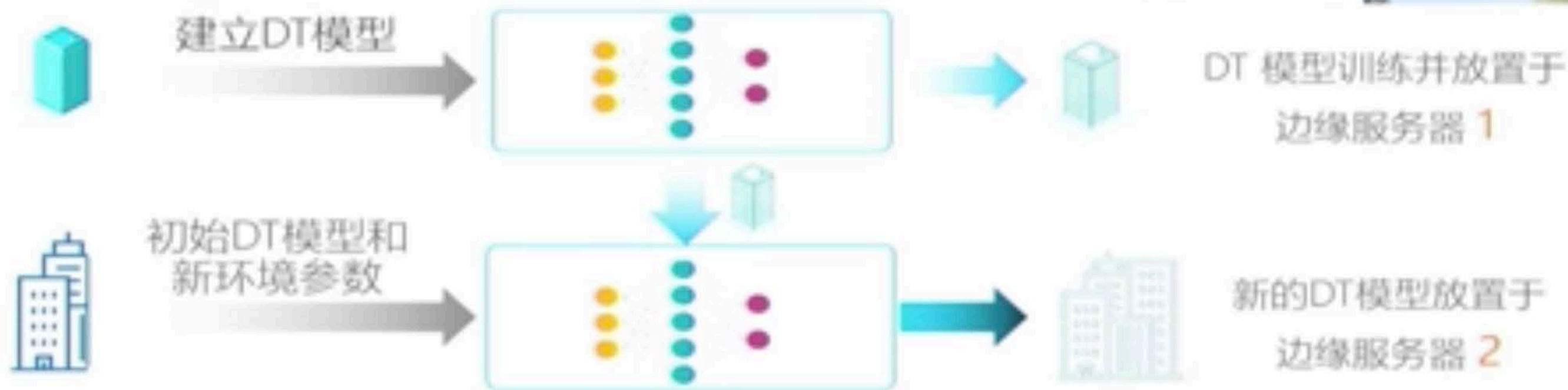
$$E_{ui}(t) = \underbrace{p_{ui}(t)}_{\text{传输功率}} * \underbrace{T_{ui}^{com}}_{\text{传输时间}}$$

传输功率

传输时间



迁移学习驱动的DT迁移 (1/2)



迁移学习

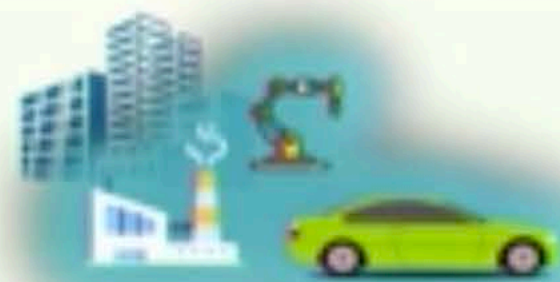


- 思想：智能体通过从执行类似任务或相关任务的其他智能体处获得先验知识，从而解决问题
- 方法：在源域和目标域之间共享模型参数；考虑学习参数的可传递性，以最小化特征空间中源域和目标域之间的统计距离，迁移学习能降低新模型构建的时延，并提高了模型的准确性

虚拟空间到物理空间的映射-研究较少



虚拟空间



规划



设计



优化



分析



预测



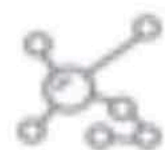
数据关注度较高

分析数据、持续更新
数字物理系统运行
研究较少

动作

物理空间





计算任务超异构

多样的元宇宙应用产生大量异构任务且需要实时计算，为用户提供沉浸式体验。



计算掉队效应

分布式元宇宙计算中的掉队节点将会造成计算延迟，降低用户服务体验。



需求不确定性

接入元宇宙服务的用户数具有不确定性，突增的计算请求将会增加计算负荷。



数字身份安全

- 用户数字身份在元宇宙中被窃取（如虚拟化身、数字资产关系）
- 伪装攻击，可信和可互操作的身份验证
- 虚拟化身认证问题，



数据管理

- 新数据类型：元宇宙需要收集各种新类型的数据（眼动、面部表情、虹膜特征等）
- 数据质量管理
- 数据所有权管理



隐私保护

- 非法或受损的终端设备可以作为数据泄露和恶意软件入侵的入口
- 数字足迹的威胁



绿色可持续性元宇宙

- 地球级虚拟世界建立能耗问题
- 大规模智能设备及网络的能耗问题
- 区块链为基础核心技术，但其运行带来的能耗问题



关键问题

- 绿色通信网络：大规模智能通信设备
- 绿色算力网络：大规模服务器及任务
- 绿色区块链：区块链的能效需要解决
- 绿色数据中心：可再生能源供电

