

CHAPTER 05

平行宇宙

在虚拟世界中培养智能

ACP方法论

让小数据生成大数据，从大数据提取深度智能

通识选修课《具身智能：从看见到行动》

"死"一百万次，零事故

自动驾驶最难应对的场景是什么？不是直道行驶，而是"罕见但致命"的鬼探头。

- 鬼探头在真实世界发生频率极低
- 不可能为了训练算法，真的制造一万次鬼探头
- 但如果系统没有"见过"这种场景，第一次遇到可能就是悲剧

答案：在虚拟世界里制造一万次

200亿英里

Waymo在仿真环境中的"行驶"里程

- 真实道路数百万英里
- **零严重事故**

虚拟世界里的"死亡"

换来了物理世界里的**"零事故"**

这就是平行系统的力量

元宇宙——互联网的三维化演进

1992年《雪崩》小说提出概念 → 2021年Facebook更名为Meta → 舆论顶峰与理性回归

四大核心特征

持久性
虚拟空间持续运行

共享性
多用户实时交互

经济系统
虚拟资产与交易

沉浸感
VR/AR多模态沉浸

根本局限

- 设计目标主要服务于**人类用户的虚拟体验**（社交、娱乐），而非**智能体的自主培养**
- NPC基于预设脚本，行为固定有限 → 元宇宙是"虚拟游乐场"，不是"培养环境"



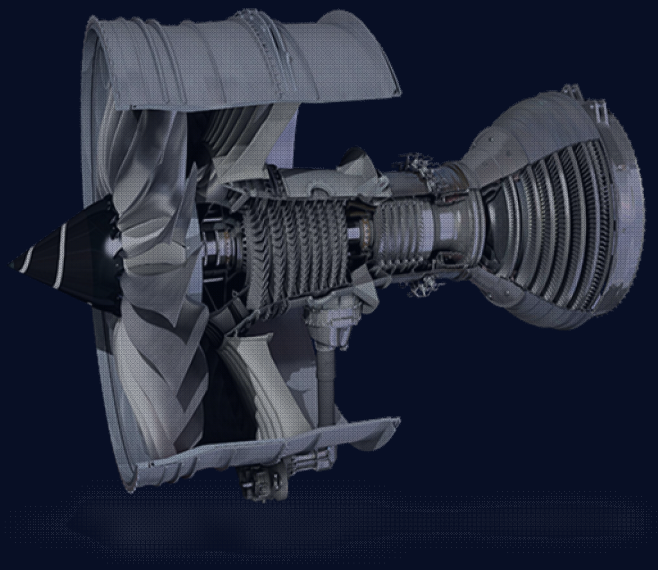
实际应用领域：

- 远程协作 —— 分布式团队共享虚拟空间讨论
- 虚拟培训 —— 医疗手术模拟、飞行程序演练
- 数字资产 —— NFT虚拟物品确权与流通

数字孪生——物理世界的数字镜像

2002年 迈克尔·格里夫斯提出

核心思想：为物理实体构建高精度数字复制品，实现实时状态同步



典型案例：波音787

- 飞行中**数千个传感器**实时采集数据
- 发动机温度、机翼振动、燃油消耗 → 地面数字孪生
- 模型与真飞机同步运转
- 核心价值：**预测性维护**——故障发生前识别异常

三大特征

① **实时同步** — 状态时间一致性

② **高保真** — 精确反映动态行为

③ **一对一映射** — 实体对应实例

局限：聚焦"描述"与"监控"，能回答"当前状态是什么"，不善于回答"未来会怎样""应该怎么做"

平行系统——虚实互动的耦合系统

2004年 王飞跃研究员正式提出

构建与物理系统平行运行的人工系统，通过虚实互动、相互学习，实现有效管理与控制

根本差异：镜像 vs 伙伴

数字孪生 = "镜像" Mirror

- 被动反映物理实体状态
- 遵循一对一映射关系

平行系统 = "伙伴" Partner

- 主动参与管理、优化与演化
- 支持一对一/一对多/多对一/多对多灵活映射

哲学基础：CPSS 三个世界

物理世界 Physical World

精神世界 Mental World

人工世界 Artificial World

社会物理信息系统（Cyber-Physical-Social Systems, CPSS）

三者关系——技术演进，而非相互替代

元宇宙="体验空间" | 数字孪生="监控空间" | 平行系统="进化空间"

对比维度	元宇宙	数字孪生	平行系统
核心目标	社交、娱乐、虚拟体验	监控、描述、预测维护	智能培养、系统优化
与物理世界关系	人类进入虚拟世界	数字镜像反映物理实体	人工系统与物理系统平行互动
智能体角色	NPC为预设脚本驱动	数据分析和可视化	核心——计算实验培养智能
映射关系	单一虚拟世界对应多用户	一对一	一对一/一对多/多对多

学游泳的类比

元宇宙 = 观看游泳教学视频

可以观察他人姿态，但无法直接获得游泳技能

数字孪生 = 教练池边观察

能识别姿态正误，但不具备主动预测或替代行动能力

平行系统 = 浅水区练习

安全可控环境中试错练习，再将技能迁移至真实环境

课堂互动①——概念辨析

举手抢答

1. 某航空公司为每架飞机建立了实时同步的数字模型，用于监测发动机状态——这是元宇宙、数字孪生还是平行系统？

   答案：数字孪生——一对一映射，目的是监控和描述当前状态

2. 如果这个城市数字模型不仅能"看"当前交通，还能"预测"未来一小时交通并"建议"信号灯调整策略——它变成了什么？

   答案：向平行系统演进——加入了预测和引导功能

3. 游戏《模拟城市》中你建设虚拟城市并观察发展——这属于三者中的哪一个？它缺少什么才能成为平行系统？

   答案：元宇宙体验属性——缺少与真实城市的实时数据交互和"平行执行"机制

A：人工系统（Artificial Systems）

$$S \rightarrow A(S) \rightarrow C(A(S)) \rightarrow P(S, A(S), C(A(S))) \rightarrow S'$$

核心思想

为复杂系统构建**可计算、可实验、可交互**的人工模型

不用微分方程"推导"，用软件代理"模拟"

映射灵活性

一对一
一辆虚拟车对应一辆真车

一对多
一个虚拟交通系统对应全城市车辆

多对一
多个人工系统对应一个实际系统

多对多
城市级多虚拟车×多虚拟路

典型案例

城市交通平行系统

软件车辆模拟每辆车的行为，拥堵、潮汐现象自然涌现

疫情传播平行系统

虚拟人口+虚拟城市+虚拟病毒，测试不同防控策略

菜鸟物流大脑

虚拟世界中预演数千万包裹流转，提前发现瓶颈

软件定义的系统：不需要"完全理解"系统规律，只需要"模拟"每个参与者的行为

C：计算实验（Computational Experiments）

利用人工系统进行可重复、可控制、可加速的实验，探索复杂系统的内在规律与最优策略

零风险

自动驾驶可"经历"一百万次事故而不造成物理损害

测试极端场景无真实损失

$ 零成本

真实世界实验需封路、调配车辆、雇佣驾驶员

虚拟世界仅需算力和电力

可加速

虚拟系统可以**100倍速**运行

现实1天 = 虚拟100天

域随机化 Domain Randomization

每次实验随机改变环境参数：摩擦系数、光照条件、传感器噪声、其他车辆行为模式...

→ 训练出的策略不会过拟合到特定仿真环境，对各种"意外"具有鲁棒性

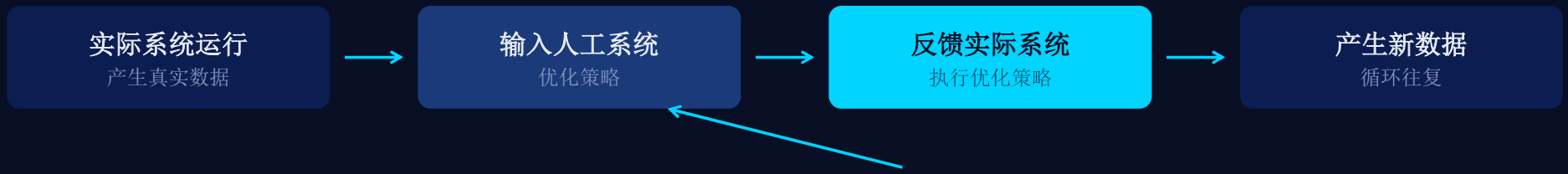
OpenAI Dactyl案例：域随机化使抓取成功率从 30% → 89%

Waymo：仿真中"行驶"超过200亿英里，每天"经历"数百万种场景

P：平行执行（Parallel Execution）

实际系统与人工系统实现实时交互、相互学习、共同进化

闭环反馈流程



三种实施方式

整体平行

整个系统构建完整虚拟副本

适用于相对封闭系统

局部平行

仅关键子系统构建虚拟副本

适用于大型复杂系统

混合平行

不同子系统采用不同方式

适用于超大规模系统

关键技术支撑

- 实时数据融合：多源传感器数据实时汇聚到人工系统
- 模型同步校准：人工系统模型参数根据实际数据持续更新
- 安全隔离与可视化交互：虚拟实验不影响物理系统，结果直观呈现

ACP = 描述 + 预测 + 引导智能

A = 描述

Descriptive 描述智能

"当前发生了什么？"

人工系统模拟物理系统当前状态

C = 预测

Predictive 预测智能

"未来可能发生什么？"

计算实验探索各种可能未来

P = 引导

Prescriptive 引导智能

"应该怎么做？"

平行执行给出最优行动方案

三者合一 = **基础智能 Foundation Intelligence**

"用小数据生成大数据，从大数据中提取深度智能"

鬼探头案例

小数据：真实世界鬼探头场景极少 → 大数据：人工系统生成一万种鬼探头变体（不同速度/角度/光照）

→ 计算实验测试每种场景的应对策略 → 深度智能：提取通用应对模式，迁移到真实自动驾驶系统

课堂互动②——ACP方法论设计

小组讨论 5分钟

A 用ACP训练"餐厅服务机器人"，人工系统里应有哪些软件Agent？

提示：虚拟顾客Agent（不同偏好/耐心度）、虚拟菜单Agent、虚拟环境Agent（座位布局/人流）

C "计算实验"中，你会设计哪些"零风险但现实中不敢试"的场景？

提示：顾客突然过敏急救、厨房火灾疏散、机器人撞翻热汤、恶意顾客挑衅等极端场景

P 平行执行阶段，人工系统如何给真实机器人"反馈"？需哪些数据回流？

提示：真实顾客满意度数据、碰撞/失误记录、能耗数据 → 回流人工系统 → 重新优化策略

平行交通——智能城市的虚拟沙盒

济南案例

济南平行交通系统

① 人工交通系统

模拟全市车辆、信号灯、道路网络

② 计算实验

测试不同信号灯配时方案

③ 平行执行

动态信号灯 + 智能诱导 + 公交优先

新加坡案例

Virtual Singapore

- 734平方公里全境三维模型
- 每栋建筑、每条道路、每棵树
- 城市规划"先试后造"
- 新建地铁站前模拟人流影响
- 灾害应急演练虚拟沙盒

济南成果：高峰时段车速提升**15%**，拥堵指数下降**20%**

没有增加一寸道路建设，仅通过智能调度实现



平行驾驶——自动驾驶的虚拟训练场

三层架构

物理层：真实车辆、道路、传感器

人机共驾层：人类驾驶员与AI协同决策

人工世界层：虚拟车辆、虚拟道路、虚拟传感器

一部物理汽车 = 三部软件汽车

描述车

镜像真实车辆当前状态

预测车

预测未来状态和可能风险

引导车

提供最优驾驶策略建议

案例：慧拓科技矿山无人驾驶

- 构建虚拟矿山：地形、道路、车辆、装载机、障碍物全部数字化
- 矿卡在虚拟环境中训练数百万公里 → 再部署到真实矿山
- 成果：**事故率接近零**，运输效率提升30%
- 应用场景：港口集装箱运输、公交、农业、灾害响应

平行视觉 + 平行机器人

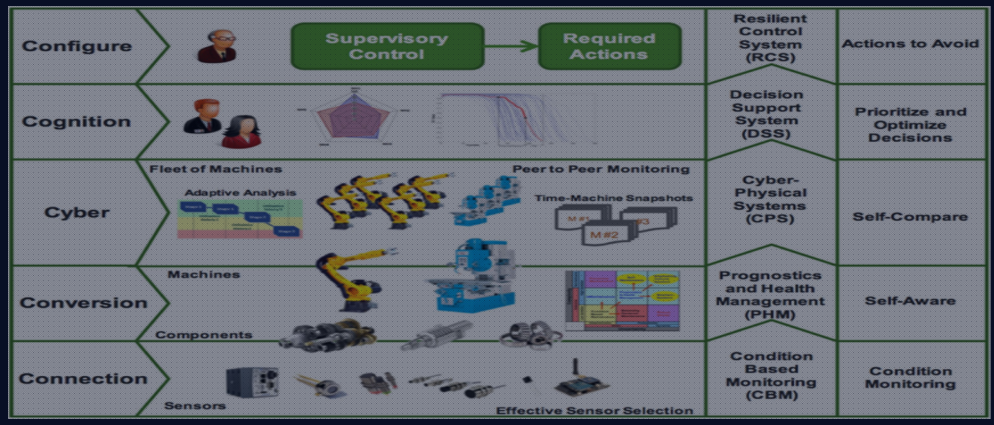
平行视觉

解决长尾场景问题

- 鬼探头、夜间驾驶、极端天气
- 罕见但高危的场景

方法

- 虚拟世界生成数万种罕见场景
- 合成数据 + 真实数据混合训练
- 模型"见过"各种极端情况



"要在人工世界吃多堑，物理世界长多智" —— 王飞跃教授

平行机器人

五元组架构：物理机器人 + 软件机器人 + 仿真系统 + 物联网 + 数据库

- 软件机器人在虚拟环境中"试错"
- 物理机器人在真实世界中"执行"
- 两者通过物联网实时交互

案例：波士顿动力Atlas

- 仿真中训练后空翻动作
- 数百万次虚拟试错 → 物理机器人完美执行
- Sim-to-Real迁移的经典范例

平行制造 + 工业5.0愿景

平行制造

从"试错法"到"先试后造"

- 波音787：虚拟仿真节省30%研发成本
- 德国工业4.0：西门子、博世、大众已广泛使用
- 数字工厂中预演生产流程，提前发现瓶颈



工业5.0愿景：三种员工 + 三种模式

三种员工

生物型员工 5%
人类专家——创意设计、复杂决策

数字型员工 80%
AI代理——数据分析、流程优化

机器型员工 15%
物理机器人——执行、搬运、操作

三种模式

自主模式 80%
AI自主决策运行

平行模式 15%
人工系统与实际系统协同

专家/应急 5%
人类专家介入处理异常

工业5.0不是取代人类，而是人机协同——AI处理常规，人类专注创造

平行教育 + 平行军事

平行教育

为每个学生构建虚拟学习环境

- 安全试错：犯错不会带来真实后果
- 个性化：根据学生特点调整难度和节奏
- 可重复：难点可以反复练习直到掌握

典型案例

- 医学教育：虚拟病人，练习诊断和手术
- 飞行员培训：飞行模拟器（最成熟的平行教育）
- 微缩智能车：本书仿真实验，虚拟驾驶训练

平行军事

在虚拟战场中预演作战方案

- 评估不同战术策略的效果
- 训练士兵应对各种战场情况
- 测试新武器装备的性能

伦理挑战

- 虚拟作战是否降低对真实战争的敬畏？
- "游戏化"战争是否让决策更轻率？
- 自主武器系统的道德边界在哪里？

"在人工世界吃多堑，在真实世界长多智"

核心理念：让错误发生在虚拟世界，让智慧成长在真实世界

平行智能的哲学意涵

默顿系统 Merton Systems

社会系统复杂到无法精确预测——分析本身改变系统行为

例：股市预测模型被广泛使用 → 改变投资者行为 → 模型失效

牛顿方法的局限

- 精确建模 → 精确预测 → 精确控制
- 对默顿系统：失效

ACP的解决方案

- 用人工系统"软化"复杂性
- 通过计算实验"硬化"为可执行方案

新科学范式

从"精确预测"
到"引导优化"

从"完全理解"
到"足够好"

从"分析世界"
到"与世界共舞"

"三个世界"融合：物理世界 + 精神世界 + 人工世界 → 共同进化

从平行系统到"平行社会" + 局限与反思

平行社会愿景

每个人、每个组织、每项政策都有虚拟副本 → 测试新政策/教育改革/医疗方案/气候影响——**而不影响真实民生**

四大局限

1 人工系统可信度

模型不准确 → 实验结果不可靠

2 虚拟成功 ≠ 现实成功

Sim-to-Real鸿沟始终存在

3 伦理与隐私

数字分身的数据谁拥有？如何保护？

4 数字鸿沟

技术门槛高，中小企业难以承担

警示：平行系统的力量是双刃剑

能让我们"零风险试错"，也能让我们"零代价作恶"——需审慎使用

课堂互动③ + 本章小结

Q1 给每个市民建"数字分身"测试政策，涉及哪些伦理风险？

Q2 ACP方法论最不适合解决哪类问题？

Q3 实验四和五分别对应ACP哪个环节？

核心概念

元宇宙 = "体验空间"

社交、娱乐、虚拟体验

数字孪生 = "监控空间"

实时同步、描述、监控

平行系统 = "进化空间"

智能培养、系统优化

A 描述 → C 预测 → P 引导 ： 从小数据 → 大数据 → 深度智能

COURSE COMPLETE

具身智能：从看见到行动

感知 → 认知 → 行动 → 平行进化