本章目录

第三章复盘：十道习题与一项课程设计

第三章 三维环境建模与仿真

3.1 三维仿真基础与工具选型

3.2 UE场景运行渲染与交互

3.3 多模态传感器数据生成

3.4 分布式仿真架构与数据接口

3.5 场景与载具资源开发

3.6 例程体系与综合实践

3.7 习题案例分析与课程设计

本节 4 个教学单元

3.7.1 概念与原理复核

教材对应：第3.4节

3.7.2 计算与故障诊断

带宽、时序与字段诊断

3.7.3 方案与课程设计

教材对应：第3.4节

3.7.4 结果讲评与本章小结

结果判定、耗时诊断与本章小结

3.7.1 概念与原理复核：三维仿真价值

习题1：三维仿真解决什么问题

三维仿真技术在智能无人系统开发中的核心作用与应用价值体现在哪些方面?

- **环境可控：**固定场景、初始位置和相机，再改变光照或障碍布局，使算法面对可解释的条件差异。
- **数据可得：**三维端把几何与材质转为图像，标签和位置可作为训练或评价依据，减少人工采集与标注。
- **闭环可分析：**控制改变载具状态，下一次观测随之变化；到达率和碰撞记录反映任务表现，适用范围由模型决定。

可控环境产生观测，闭环反馈支撑任务比较。

3.7.1 概念与原理复核：资源与运行流程

习题2：解释流程中的前后关系

简述三维仿真流程的主要环节及其内在逻辑。

几何与贴图	→	场景与对象	→	观测与控制
资源文件		位姿和材质		数据及反馈

- **资源处理：**模型给出表面形状，贴图和材质规定表面响应；导入、配置后才成为场景中的可用对象。
- **运行循环：**状态更新对象，渲染与传感器产生观测；算法给运动目标，控制器与动力学产生下一状态。

资源变为场景对象后，状态更新才能驱动观测与控制闭环。

3.7.1 概念与原理复核：UE能力与取舍

习题3：说明UE的优势与取舍

UE作为三维引擎在智能无人系统仿真中的优势是什么？

- **视觉任务：**网格、材质、光照和相机可在同一场景中组合，支持在固定几何条件下生成不同外观观测。
- **交互开发：**Actor与组件组织对象；蓝图事件连接输入、变量和行为，C++可扩展自定义逻辑与接口。
- **工程代价：**高分辨率相机、复杂阴影和大量对象会增加GPU、CPU与传输负载，选择配置须满足任务帧预算。

引擎能力要对应观测与交互任务的具体需求。

3.7.1 概念与原理复核：分布式闭环

习题4：追踪分布式仿真的数据流

RflySim在总体架构上是如何与UE引擎、CopterSim等模块协同工作的，其优势和局限分别是什么？

飞控	→	CopterSim	→	三维端	→	算法
控制量		位姿状态		传感器观测		运动目标

- **闭环路线：**CopterSim加载动力学库并求解状态，UDP位姿驱动三维端；观测进入算法，算法目标返回飞控，产生下一控制量。
- **收益与代价：**模型和图形负载可分开部署；消息延迟、丢失或时钟偏移会使观测与状态错配，并影响控制。

模块分工降低耦合，通信与同步影响联合结果。

3.7.1 概念与原理复核：习题4时间配对

图像与位姿配对，为什么要先统一时间?

思考：图像与位姿来自不同程序。两份数据都是“最新收到”的，就能直接配对吗?

- **先确认时钟：**不同程序的时间戳是否处于同一时间域?
- **再找采样时刻：**图像记录的是采样时的场景，而不是到达时的场景。
- **最后匹配状态：**按采样时刻选择或插值位姿；不能只比较到达先后。

按任务负载和时间一致性评价分工，而非只看画面。

3.7.1 概念与原理复核：渲染与多模态

习题5：从渲染管线理解多通道输出

说明UE渲染管线（以延迟渲染为例）的关键步骤，并简要指出多通道渲染如何为多模态传感器生成提供支持。

场景与可见性
筛出可见几何
→
表面缓冲
材质/法线等
→
光照与后处理
合成颜色图像

- **延迟渲染：**几何阶段把可见表面的法线、材质等写入G-buffer，后续光照阶段利用这些信息计算颜色。
- **模态分支：**深度描述几何位置，分割使用对象标签；红外还依赖辐射/温度等模型，不能仅由RGB换色得到。

表面信息服务着色，不同观测还需要各自定义。

本章目录

第三章复盘：十道习题与一项课程设计

第三章 三维环境建模与仿真

3.1 三维仿真基础与工具选型

3.2 UE场景运行渲染与交互

3.3 多模态传感器数据生成

3.4 分布式仿真架构与数据接口

3.5 场景与载具资源开发

3.6 例程体系与综合实践

3.7 习题案例分析与课程设计

本节 4 个教学单元

3.7.1 概念与原理复核

教材对应：第3.4节

3.7.2 计算与故障诊断

带宽、时序与字段诊断

3.7.3 方案与课程设计

教材对应：第3.4节

3.7.4 结果讲评与本章小结

结果判定、耗时诊断与本章小结

3.7.2 计算与故障诊断：RGB带宽

教学算例：RGB图像的数据带宽

题设：1280×720、RGB每通道8 bit、30 FPS；忽略压缩和协议开销。

每帧像素		每像素字节		每秒帧数
1280 × 720	×	3 × 1 B	×	30

$$1280 \times 720 \times 3 \times 30 = 82{,}944{,}000\ \mathbf{B/s}$$

每MiB含1,048,576字节；约79.1 MiB/s或663.6 Mb/s，尚未计协议开销。

宽高同时翻倍，像素数与原始带宽增为四倍。

3.7.2 计算与故障诊断：时刻错配

教学算例：50 ms错配带来多大位移

题设：匀速直线运动8 m/s；同一时间域中，图像采样比位姿晚50 ms。



$$\Delta t = 0.050\ \mathbf{s}$$

$$\Delta x = v \times \Delta t = 8 \times 0.050 = 0.40\ \mathbf{m}$$

本例忽略姿态变化与曝光过程；0.40 m是时序错配对应的位移。

运动过程中的时间错配，会被误认为空间误差。

3.7.2 计算与故障诊断：实例编号

诊断题设：为何读到了另一架载具

题设：要读取1001号；1001、1002号均已创建，订阅与接收正常。

Copt = ue.getCamCoptObj(1, 1002)
Copt.CopterID → 1002

- **推断：**type_id=1按实例ID检索；调用明确传入1002，返回编号也为1002，错误发生在读取目标映射。

- **修正：**将查询目标改为1001并确认返回编号。对象身份对上后，再分析位置、单位与时刻，避免先翻转坐标轴。

本章目录

第三章复盘：十道习题与一项课程设计

第三章 三维环境建模与仿真

3.1 三维仿真基础与工具选型

3.2 UE场景运行渲染与交互

3.3 多模态传感器数据生成

3.4 分布式仿真架构与数据接口

3.5 场景与载具资源开发

3.6 例程体系与综合实践

3.7 习题案例分析与课程设计

本节 4 个教学单元

3.7.1 概念与原理复核

教材对应：第3.4节

3.7.2 计算与故障诊断

带宽、时序与字段诊断

3.7.3 方案与课程设计

教材对应：第3.4节

3.7.4 结果讲评与本章小结

结果判定、耗时诊断与本章小结

3.7.3 方案与课程设计：视觉避障

习题6：设计视觉避障的仿真流程

计划使用RflySim训练基于视觉的无人机避障算法。请设计从场景构建到数据生成与接口输出的高层流程，并指出关键技术点。

- **环境与输入：**给定起终点、障碍布局和相机挂载，生成图像与对应状态；标签供所选训练方法使用。
- **数据与反馈：**记录图像、时间戳、位姿和动作；算法给运动目标，飞控与动力学响应后生成下一次观测。
- **评价条件：**60 s内到达目标0.5 m范围且无碰撞；超时或碰撞记失败，并在独立布局与光照条件下评估。

训练与评估分别保留输入条件和任务结果。

3.7.3 方案与课程设计：城市资源导入

习题7：把城市街区模型导入平台

把Blender制作的城市街区模型导入RflySim3D用于无人车导航仿真。请结合资产集成路线，给出导入与优化流程。

- **模型准备：**在Blender明确长度单位、轴向和原点，应用对象变换，导出FBX并携带贴图依赖。
- **引擎处理：**导入网格与材质，给道路和墙体设置碰撞；远处建筑使用细节层级（LOD），减少无效几何。
- **平台集成：**按课程引擎版本Cook并部署地图及依赖；用已知长度道路核对尺度，再检查车辆通行与碰撞位置。

几何、材质与碰撞共同决定模型能否用于导航。

3.7.3 方案与课程设计：射线与点云

习题8：设计射线式点云生成

为多无人机协同感知模拟LiDAR点云，请描述基于射线检测的生成方法，并说明如何平衡精度和实时性。

发射射线
起点与单位方向
→
检测命中
距离与有效标记
→
变换与组帧
坐标与采样时刻

- **几何计算：**命中点$p = o + r \cdot d$，d为单位方向、r为距离；未命中单列无效值，随后变换到约定坐标系。
- **计算取舍：**单机16线×1024方向×10 Hz为163840次射线/秒；多机按台数增加，减扫描量会降低空间或时间分辨率。

每个命中点都来自明确的射线与采样时刻。

3.7.3 方案与课程设计：习题8续

按扫描设置估算射线工作量

水平每0.2°一方向、16线、10圈/秒、4机，合计多少条射线?

- 一圈水平有360÷0.2=1800个方向；每方向发16线。

$$1800 \times 16 \times 10 \times 4 = 1\,152\,000 \text{ rays/s}$$

- 100 FPS下一帧约10 ms后可取异步结果；总延迟仍须测。

降低角密度、线数或频率会减少工作量，也会稀疏点云。

3.7.3 方案与课程设计：多载具交互

习题9：设计多载具交互演示

设计一个多载具三维场景与人机交互教学案例，结合交互设计和蓝图开发说明实现方案。

按钮事件	→	蓝图变量	→	观察与反馈
选择载具2		SelectedID = 2		聚焦2号并显示ID

- **交互方案：**按钮事件写入SelectedID，分支选择对应对象，更新选中标签；目标不存在时显示未找到，保留原选择。
- **平台对照：**B2聚焦2号、V切换跟随视角、S显隐ID。观察视角变化不发送载具运动目标，退出选择可恢复原视角。

输入选择对象，事件修改状态，反馈显示结果。

3.7.3 方案与课程设计：大场景性能

习题10：制定大场景性能方案

针对Cesium全球场景或城市级模型，设计性能优化与接口使用方案，使无人系统仿真适合目标笔记本的资源条件。

- **预算题设：**30 FPS对应33.3 ms/帧；95%分位是约95%样本不超过的耗时，另记相机采样率与算法耗时。
- **按瓶颈调整：**GPU超时减阴影；CPU过重减无关Actor和Tick；取图滞后时调整采样与传输。
- **地图与评价：**按需加载地理瓦片，明确在线服务或离线资源条件；固定路线比较优化前后耗时和任务失败率。

按瓶颈减负载，并保留任务需要的几何和观测。

3.7.3 方案与课程设计：双相机采集题设

双相机数据采集与处理耗时评估

· **输入条件：** Grasslands、1号飞行器与匹配SITL；SeqID为0/1，均为640×480彩色相机，请求30 Hz。

· **采集记录：** 按各路时间戳变化计新帧，重复轮询不计；每路100帧，记录相机ID、接收序号、形状、宽高与单调时刻。

· **处理计时：** perf_counter()前后相减得到处理耗时T；每路用99除以首末接收时间差，得到100帧的平均接收频率。

· **验收题设：** 200帧均为(480,640,3)，宽高一致，至少190帧T≤100 ms；无发送序号时只报告接收间断。

新帧标识关联采集记录，单调时钟度量处理耗时，分别按题设验收。

3.7.3 方案与课程设计：双相机入口

先确认两路数据均到达，再计时

课程设计：两路640×480彩色相机，怎样建立可复核的采集输入？

- **步骤1：**核地图、载具、SeqID 0/1与相机配置，再按Readme启动。
- **步骤2：**请求两路像素后，分别记录宽高、通道数和接收时间。
- **步骤3：**若无画面，核请求、配置与网络；不把空缓存计为零帧。

3.7.3 方案与课程设计：新帧与计时

重复轮询不等于收到新帧

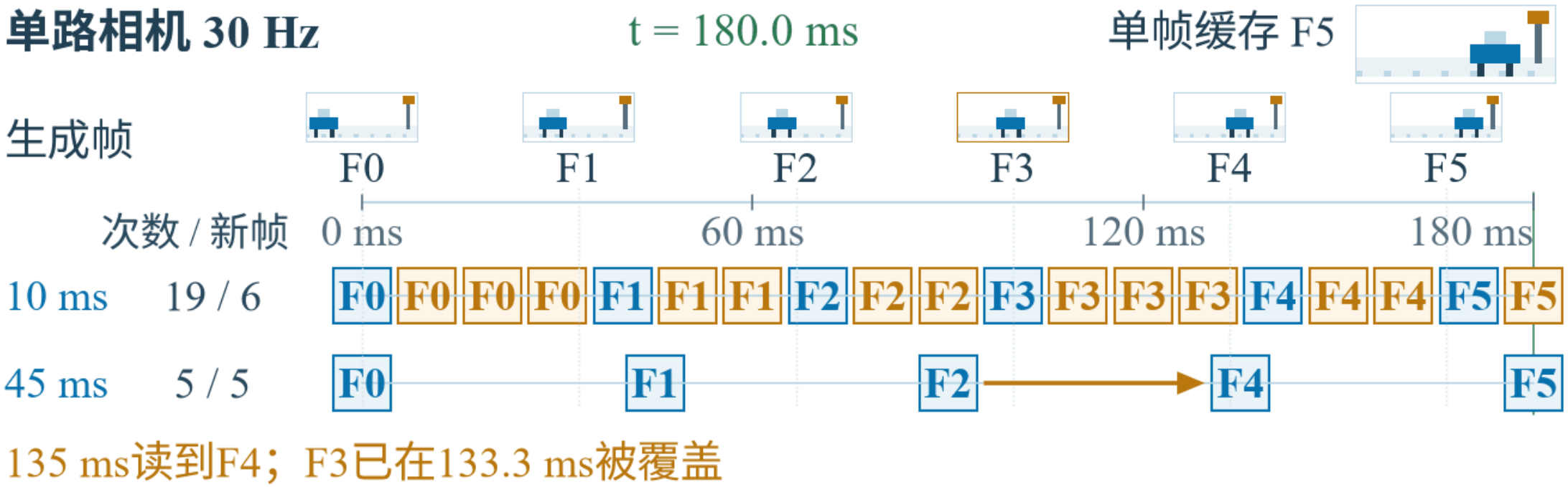
两路相机各要记录100帧；怎样去重并测单帧处理耗时?

- 每路保存上一次时间戳；仅变化且像素有效时计新帧。
- 复制该帧像素后处理，用单调时钟前后差记录耗时。
- 记录相机ID、接收序号、时间戳、形状和耗时。

按新时间戳计帧；处理耗时与相机帧周期分开报告。

3.7.3 方案与课程设计：单路缓存轮询

轮询间隔决定重复读取与缓存覆盖



图：同一路相机，两种轮询策略读取到的帧不同

按新帧标识去重；未读取到的旧缓存不可追溯。

本章目录

第三章复盘：十道习题与一项课程设计

第三章 三维环境建模与仿真

3.1 三维仿真基础与工具选型

3.2 UE场景运行渲染与交互

3.3 多模态传感器数据生成

3.4 分布式仿真架构与数据接口

3.5 场景与载具资源开发

3.6 例程体系与综合实践

3.7 习题案例分析与课程设计

本节 4 个教学单元

3.7.1 概念与原理复核

教材对应：第3.4节

3.7.2 计算与故障诊断

带宽、时序与字段诊断

3.7.3 方案与课程设计

教材对应：第3.4节

3.7.4 结果讲评与本章小结

结果判定、耗时诊断与本章小结

3.7.4 结果讲评与本章小结：结果判定

课程题设数据：如何作出通过判定

项目	题设结果	判定
200帧数组形状	均为(480,640,3)	尺寸通过
状态宽高	640 / 480	字段一致
耗时不超过100 ms的帧数	188 / 200帧（要求≥190）	处理耗时超标

结论：采集内容与尺寸符合题设，处理链路超出预算；
应定位保存、转换或算法处理耗时，再用相同条件复测。

3.7.4 结果讲评与本章小结：瓶颈诊断

把超时帧拆成可复算的处理阶段

教学题设：各阶段顺序执行且无重叠。
某超时帧：转换25 ms、保存30 ms、算法65 ms；预算100 ms。

- 诊断：算法65 ms是最大阶段；总耗时120 ms，超预算20 ms。

$$25 + 30 + 65 = 120\,\text{ms};\quad 25 + 30 + 40 = 95\,\text{ms}$$

- 若算法降至40 ms，则总耗时95 ms；须在同一计时边界重测全部帧。

先按同一计时边界拆分，再针对最大耗时阶段复测。

3.7.4 结果讲评与本章小结：进入动力学模型

从场景观测进入载具运动模型

质量、惯量、力与力矩决定状态变化；三维端接收状态后更新画面。

相机配置与图像数组定义见课件3.4.4。

第四章：运动方程、模型与仿真接口

https://rflysim.com/doc/zh/2.Course/ch4/index.html

外观定义看见什么，动力学解释运动怎样形成。

3.7.4 结果讲评与本章小结：迁移讨论

视觉避障从无人机换成无人车

沿用习题6的街区场景，改用无人车时哪些条件必须重检？

- 可沿用场景、图像与时间戳记录，但相机挂载要重标定。
- 重做车辆动力学、轮地接触、道路边界与碰撞判据。
- 用已知长度路段核尺度与速度，再比较到达、碰撞和超时。

迁移保留数据链，运动与接触模型必须重新验证。

本章小结

资源、状态、观测与评价构成可复现闭环

- **资源：**场景、载具、材质和配置文件须成套交付，明确版本与依赖。
- **状态：**动力学或控制模块更新位置姿态，三维端按实例ID显示。
- **观测：**相机、深度与点云各有采样条件，按时间戳配对状态。
- 评价：写清任务指标、样本数和阈值，未通过时定位输入、时序或处理环节。

固定输入与版本，才能解释仿真结果的差异。