本章目录

RflySim组网框架与通信仿真

第九章 多机通信与智能组网

9.1 组网通信基础与背景需求

9.2 硬件选型指标与通信机制

9.3 软件分层与通信协议

9.4 通信建模与干扰仿真

9.5 RflySim组网框架与通信仿真

9.6 关键通信协议与开发接口

9.7 本章实验案例与综合验证

9.8 习题与课堂讨论

本节 2 个教学单元

9.5.1 总体架构与数据分类

教材对应：第9.2.1节第1项

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度

教材对应：第9.2.1节第2–3项

9.5.1 总体架构与数据分类：数据传输内容

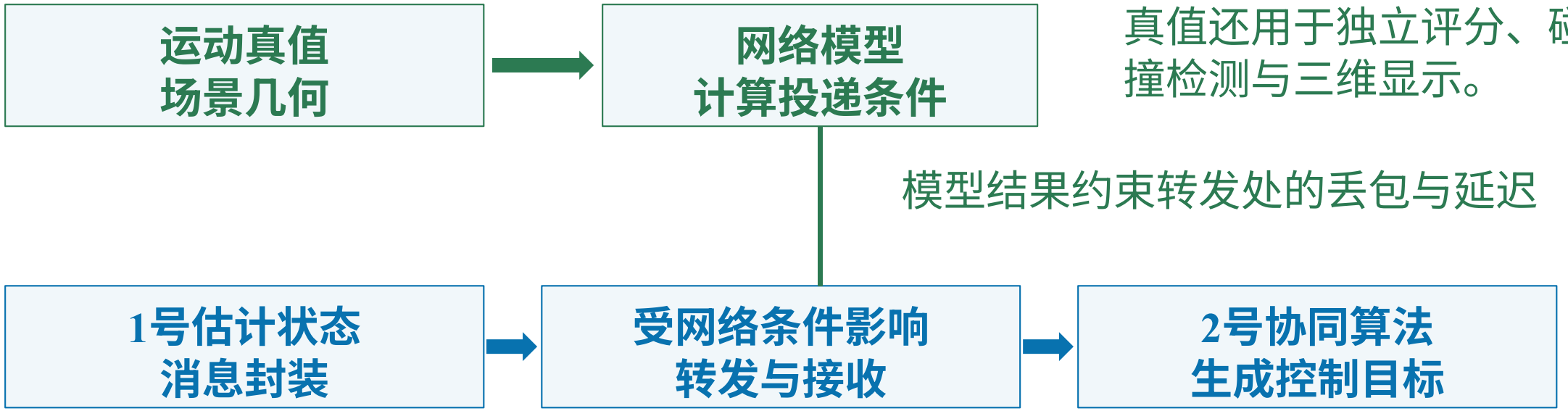
同一台载具的状态有不同来源

数据类别	产生者与含义	典型使用者
仿真真值	运动模型的精确位姿、速度	场景、碰撞、信道模型、评分
观测与估计	相机、IMU、定位观测 以及自驾仪状态估计	感知、协同决策、状态交换
控制与任务信息	算法的目标、任务或控制指令	自驾仪、执行器或其他节点

字段名包含“位置”不足以判断来源；还要查生成模块、坐标系与时间戳。

9.5.1 总体架构与数据分类：两类数据通道

真值驱动网络模型，消息进入协同算法



2号算法→2号自驾仪→2号运动状态；网络真值支路用于条件计算与独立评分。

9.5.1 总体架构与数据分类：算法输入边界

估计位置和真实位置要分别核对

```
if msg.get_type() == "LOCAL_POSITION_NED":
    self.uavPosNED[0] = msg.x
    self.uavPosNED[1] = msg.y
    self.uavPosNED[2] = msg.z
```

来源：自驾仪发出的局部位置估计。

含义：NED为北、东、地；单位米，原点需核对。

两机位置比较：先对齐原点、轴向和时间，再计算相对位置。
uavGlobalPos的全局参考转换不自动赋予真值精度。

把估计误差与通信影响分开，才知道算法为何失效。

本章目录

RflySim组网框架与通信仿真

第九章 多机通信与智能组网

9.1 组网通信基础与背景需求
9.2 硬件选型指标与通信机制
9.3 软件分层与通信协议
9.4 通信建模与干扰仿真
9.5 RflySim组网框架与通信仿真
9.6 关键通信协议与开发接口
9.7 本章实验案例与综合验证
9.8 习题与课堂讨论

本节 2 个教学单元

9.5.1 总体架构与数据分类

教材对应：第9.2.1节第1项

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度

教材对应：第9.2.1节第2–3项

9.5 RflySim组网框架与通信仿真

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度：通信仿真转发方式

图9.7把运动、通信和网络模型连接起来

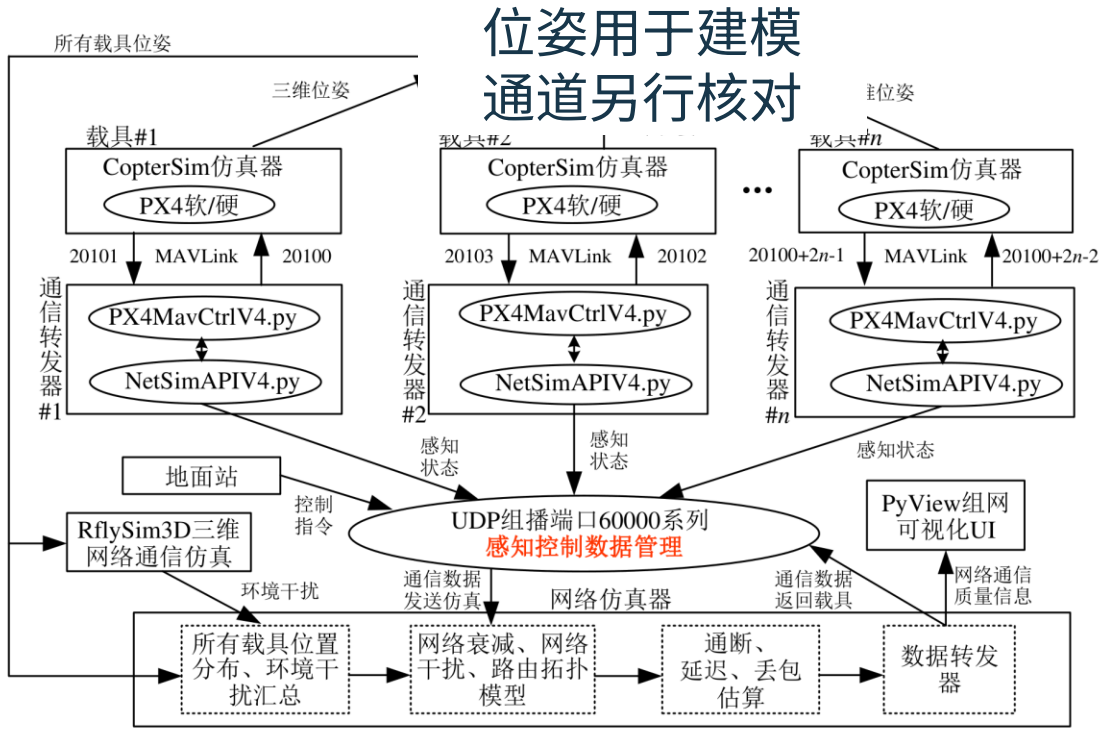


图9.7 多机通信、组网及转发框架

载具侧： PX4与CopterSim交换状态和控制；Python读取并转发状态。

网络侧： 先由位姿与环境计算条件，再影响业务包投递。

20100系列接口承载自驾仪状态与控制；真值另有通道。

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度：20100系列直连

直连链路绕过网络损耗模型

载具编号 i	Python发送控制到CopterSim	Python监听状态回传
1	20100	20101
2	20102	20103
默认映射	$20100 + 2(i-1)$	$20101 + 2(i-1)$

理想直连：不施加模拟距离、遮挡与丢包；操作系统和真实网络仍有开销。
受限网络实验中，算法的远端状态必须来自受约束的接收接口。

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度：60000系列转发

转发入口、模拟传输与回传出口都要经过



沿折线连接两行；目标节点内部收包后，才经出口回传到2号。
位姿另从20008/20009/20010进入RecvSim，更新Mobility，不是算法消息输入。

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度：NetSim4Demo数据路径

Python粗粒度例程有独立的端口约定

业务包
UDP 30000
→
成功率判断
延迟缓存
→
目标接收
22000+ID

模型的成功率用于上方投递判断；绿色通道不直接给协同算法提供远端状态。

CopterSim真值
组播20008
→
位置→质量矩阵
最大乘积路径
→
矩阵到GUI
组播32000

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度：教学数值例

粗粒度转发把路径质量折算为投递结果

候选路径	给定链路成功率	合成成功率
1→2	0.50	0.50
1→3→2	0.80；0.90	0.72，按此模型选用

$$P_{\text{path}} = 0.8 \times 0.9 = 0.72, \qquad \tau = \frac{0.001}{0.72}\ \text{s} \approx 1.389\ \text{ms}$$

P_{path}：路径成功率（无量纲）；τ：模型延迟；0.001 s为基准时间。

条件：忽略带宽门限，链路投递独立；成功率为教学设定。

该程序整体折算路径影响，不含OLSR路由维护或逐跳MAC竞争。

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度：细粒度网络仿真器

图9.8将外部载具映射成网络虚拟节点

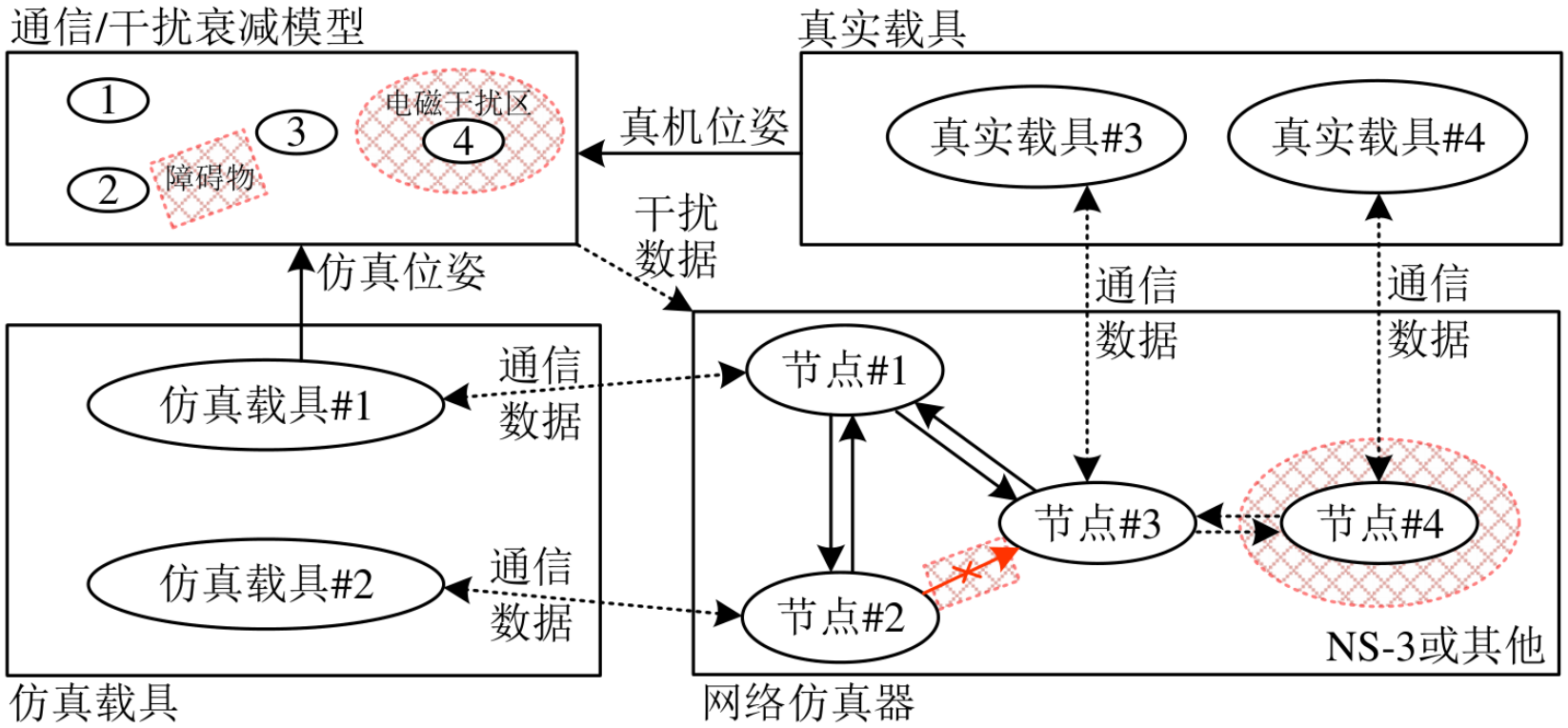


图9.8 RflySim与NS-3细粒度网络仿真器

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度：细粒度路径与时钟

NS-3内的路由与无线竞争决定是否到包

应用与UDP/IP
注入源节点 → 设备与信道
接入、竞争、损耗 → 路由及中继
目标节点收包

当前联调代码：入口双缓冲每5ms取包；单个缓存最多100条，超出时移除旧条目。

三维与实时性：当前位置更新将高度设为0；三维场景需核对映射。实时推进不足会积累额外延迟。

统计边界：NS-3内部包时延之外，还有外部UDP、桥接缓存与算法处理时间。

9.5.2 通信转发与仿真精细粒度：分布式分组与环境耦合

分组仿真需要定义组间链路和同步

组织方式	需要接入什么	必须检查什么
多个网络实例	组间网关、包通路、时钟	跨组包不旁路、不重复施加损耗
UE提供几何	建筑、地形、位姿等参数	NS-3所选传播模型支持的几何
UE提供损耗	计算得到的衰减量	单位、频率、更新时间与模型接口
UDP或Redis接口	按部署条件接入业务数据	共享的数据是否实际经过网络模型

组规模由设备、模型和包率共同决定；“每组10节点”不能作普适容量承诺。

练习与讨论

二号为何未受模拟网络延迟影响

场景：2号同时存在受限网络通道与直连1号20101的状态通道；算法始终读取后者。

问题1：为什么增加网络损耗后，算法表现可能几乎不变？应记录哪些来源和时间？

问题2：直连、粗粒度与细粒度仿真各检验什么？模型内部时延能否代表端到端时延？

参考要点

逐条追踪算法实际读取的数据

路径：消除算法输入旁路；分别记录源ID、输入接口、采样、接收和使用时刻。

粒度：直连查通路逻辑，粗粒度查宏观交付条件，细粒度查设备、信道与路由事件。

统计：分开记录外部通信、桥接缓存、网络内部与算法处理时间；统一业务流和时钟。

本节小结

数据路径决定网络模型是否真正生效

数据来源：真值、估计、观测与控制分别标明；局部坐标与时标先对齐。

转发边界：业务包经过模型才受其影响；粗细粒度、外部与内部时延分开统计。

统计边界：模型内部时延不等于端到端时延；按任务选择仿真粒度。

连接下一节：MAVLink如何编码，DDS如何匹配，OLSR如何维护多跳路由。