本章目录

习题与课堂讨论

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 3 个教学单元

9.8.1 概念与工程判断

教材对应：第9.4节，题1-5

9.8.2 链路与路由计算

教材对应：第9.4节，题6-8

9.8.3 组网设计与综合验证

教材对应：第9.4节，题9-10

9.8 习题与课堂讨论

9.8.1 概念与工程判断：有效组网通信

题1：共享信息的条件与星形网络

题1：什么是“有效的组网通信”？各节点仅与地面站点对点连接时，何时无法实现协同信息共享?

情形	是否具备协同信息共享	参考判断
各机分别受地面站遥控，状态不向其他节点分发	缺少任务所需的跨节点共享	独立遥控链路尚未形成任务所需的协同共享
地面站接收并转发其他节点可用的状态	存在中心转发的信息通路	属于星形网络；中心是容量与故障集中点
节点直连或经中继共享	可按任务建立分布式通路	仍要检查身份、数据语义、时效、可靠性与授权

9.8 习题与课堂讨论

9.8.1 概念与工程判断：小规模与大规模

题2：规模变化首先改变通信负载

题2：分析小规模与大规模集群的通信策略差异与分簇要点。

N个节点两两单播，每轮每对发送一次；下方计算消息副本总数。

比较维度	小规模参考选择	大规模参考选择
状态交互	直连或单个中继，结构简单	局部高频，跨簇摘要与事件分发
控制开销	可接受较完整的邻居维护	分簇、分级路由与抑制重复广播
失效处理	保留少量替代路径	备份簇首、边界成员和重入机制

$$N(N-1): \quad 4 \times 3 = 12, \qquad 30 \times 29 = 870$$

9.8.1 概念与工程判断：分簇要点

题2：簇的形成、维护与退出

按位置和运动分组
限制簇内距离 → 选主簇首与备份
比较链路和负载 → 周期评估并滞回
处理加入与离开

成员选择：邻近、相对速度、链路质量和业务相关性共同决定；节点数阈值需用目标场景检验。

维护与恢复：簇首心跳、备用角色、跨簇网关和重入流程；滞回减少边界节点来回切换。

评价：同时比较吞吐、尾部时延、控制开销、簇首负载和重组期间的失联长度。

9.8 习题与课堂讨论

9.8.1 概念与工程判断：通信关键性能参数

题3：链路参数与端到端性能

题3：分析通信关键性能参数与低时延的系统性来源。

参数组	量与单位	怎样影响任务
物理与链路	频率Hz、带宽Hz、功率dBm、 距离m、接收门限dBm	影响覆盖与可用链路， 天线、环境和速率档位共同作用
数据交付	有效吞吐bit/s、包率packet/s、 误码率、丢包率	业务负载与协议/重传开销 共同占用通信资源
时间与稳定性	端到端时延、抖动、信息年龄、 连续失联时长，单位s或ms	决定使用的信息有多及时， 影响控制和任务恢复

9.8.1 概念与工程判断：低时延的系统性来源

题3：一次端到端时延的分解

计时：消息生成至接收完成。输入：1 km、1,000 B、10 Mbit/s；生成后发送调度10 ms、处理2 ms、排队8 ms、接入/重传6 ms。

$$d_{\text{tx}} = \frac{8 \times 1000}{10 \times 10^6} = 0.8\ \text{ms}$$

$$d_{\text{prop}} = \frac{1000}{3 \times 10^8} \approx 0.0033\ \text{ms}$$

$$d_{\text{end}} = 10 + 2 + 8 + 6 + 0.8 + 0.0033 \approx 26.8033\ \text{ms}$$

口径：本例为“生成→接收”；9.7“发送→接收”须先对齐打点位置。
参考：生成前采样等待另计；优先降低排队、接入和调度耗时。

9.8 习题与课堂讨论

9.8.1 概念与工程判断：调制取舍

题4：调制方式的效率与链路条件

题4：简述常见调制方式与抗干扰技术的取舍。

调制	可见的收益	代价与使用条件
正交相移键控 QPSK	每符号2 bit；同平均符号能量下，点间距较16QAM大	频谱效率低于同符号率16QAM
16阶正交幅度调制 16QAM	每符号4 bit，同符号率理论比特率更高	需要更高信噪比和线性度，链路变差时误码可能增加
高斯最小频移键控 GMSK	连续相位，近似恒包络	脉冲成形与接收复杂度、频谱和误码之间存在取舍

9.8.1 概念与工程判断：抗干扰技术

题4：扩频、检错、纠错与重传

方法	机制	主要代价
跳频 FHSS / 直序 DSSS	跨频率分散干扰影响 / 扩展码处理	带宽、同步与协议开销
循环冗余校验 CRC	检测接收数据错误	仅检错，不能恢复错误位
前向纠错 FEC	加入冗余以恢复一定范围错误	有效码率降低，译码有开销
自动重传 ARQ	检测失败后再次发送	占用容量，增加时延与尾部波动

补充：LoRa采用啁啾扩频（CSS）；应综合权衡可靠性、吞吐、能耗与时延。

9.8.1 概念与工程判断：协议栈

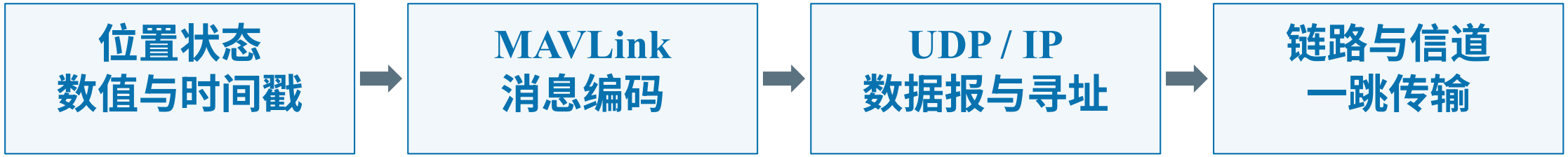
题5：典型协议的分层角色

题5：简述通信协议分层与典型协议在栈中的角色。

层次或角色	典型对象	负责的事情
物理与链路	调制、无线接入、以太网	信号传递、帧、接入与一跳交付
网络与路由	IP、OLSR、AODV	寻址和跨跳路径；OLSR主动维护
传输	UDP、TCP	数据报 / 可靠有序字节流
消息与分发	MAVLink、DDS、MQTT	消息字段 / 发布订阅及QoS / Broker主题
软件框架与服务	ROS 2、Redis、RTSP	应用组织 / 数据服务 / 流会话控制

9.8.1 概念与工程判断：栈的具体组合

题5：一条状态消息的职责划分



接收端逆向处理：接收帧 → 取出UDP载荷 → 解析MAVLink字段 → 应用使用位置和时间。

DDS变式：应用发布约定的Topic与类型，Writer/Reader匹配后分发数据；底层承载由实现配置决定。

格式、分发与路由各有职责，故障定位沿实际数据通路展开。

本章目录

习题与课堂讨论

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 3 个教学单元

9.8.1 概念与工程判断

教材对应：第9.4节，题1-5

9.8.2 链路与路由计算

教材对应：第9.4节，题6-8

9.8.3 组网设计与综合验证

教材对应：第9.4节，题9-10

9.8.2 链路与路由计算：路径损耗与裕度

题6：链路预算的已知量与假设

题6：进行自由空间路径损耗的定量计算，并完成通信链路裕度的系统性评估。

参数	教学取值	口径
频率、距离	2.4 GHz；1 km	自由空间、视距，暂不计附加损耗
发射功率、两端增益	20 dBm；5 dBi / 5 dBi	天线方向与极化匹配的假设
两端馈线损耗	1 dB / 1 dB	分别计入发射端与接收端
接收门限、要求裕度	−85 dBm；10 dB	门限绑定速率和误码条件

9.8.2 链路与路由计算：式(9.1)-(9.2)

题6：自由空间损耗的单位与代入

$$L_{\mathrm{fs}} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right), \qquad \lambda = \frac{c}{f}$$

式(9.1)：距离d与波长使用同一长度单位，c为传播速度，f为频率。自由空间模型未含遮挡、反射与干扰。

$$L_{\mathrm{fs}} = 32.44 + 20\log_{10}(d_{\mathrm{km}}) + 20\log_{10}(f_{\mathrm{MHz}})$$

$$L_{\mathrm{fs}} = 32.44 + 20\log_{10}(1) + 20\log_{10}(2400) \approx 100.04\ \mathrm{dB}$$

单位自查：2.4 GHz = 2400 MHz。式(9.2)中的数值常数依赖选用的单位。

9.8.2 链路与路由计算：系统性链路评估

题6：接收功率与可用裕度

符号：发射功率与接收功率用dBm，天线增益用dBi，馈线和路径损耗用dB；门限绑定接收模式。

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - L_{\text{fs}}$$

$$P_r = 20 + 5 + 5 - 1 - 1 - 100.04 = -72.04\ \text{dBm}$$

$$M = P_r - P_{\text{sens}} = -72.04 - (-85) = 12.96\ \text{dB}$$

要求裕度10 dB，因此剩余储备2.96 dB。教学预算满足当前假设；还需纳入姿态、极化、馈线变化、遮挡与接收干扰。

9.8.2 链路与路由计算：预算边界

题6：距离与附加损耗的敏感性

工况	总路径损耗	门限之上裕度	10 dB储备
0.5 km	94.02 dB	18.98 dB	是
1 km	100.04 dB	12.96 dB	是
2 km	106.06 dB	6.94 dB	否
1 km + 6 dB遮挡附加损耗	100.04 + 6 dB	6.96 dB	否

$$L_{\text{total}} = L_{\text{fs}} + \Delta L_{\text{Fresnel}}$$ （教材式9.4）

9.8.2 链路与路由计算：第一菲涅尔区

题7：直视线之外还需要空间净空

题7：推导并计算第一菲涅尔区半径，结合遮挡场景建立科学的遮挡判据并展开深度分析。

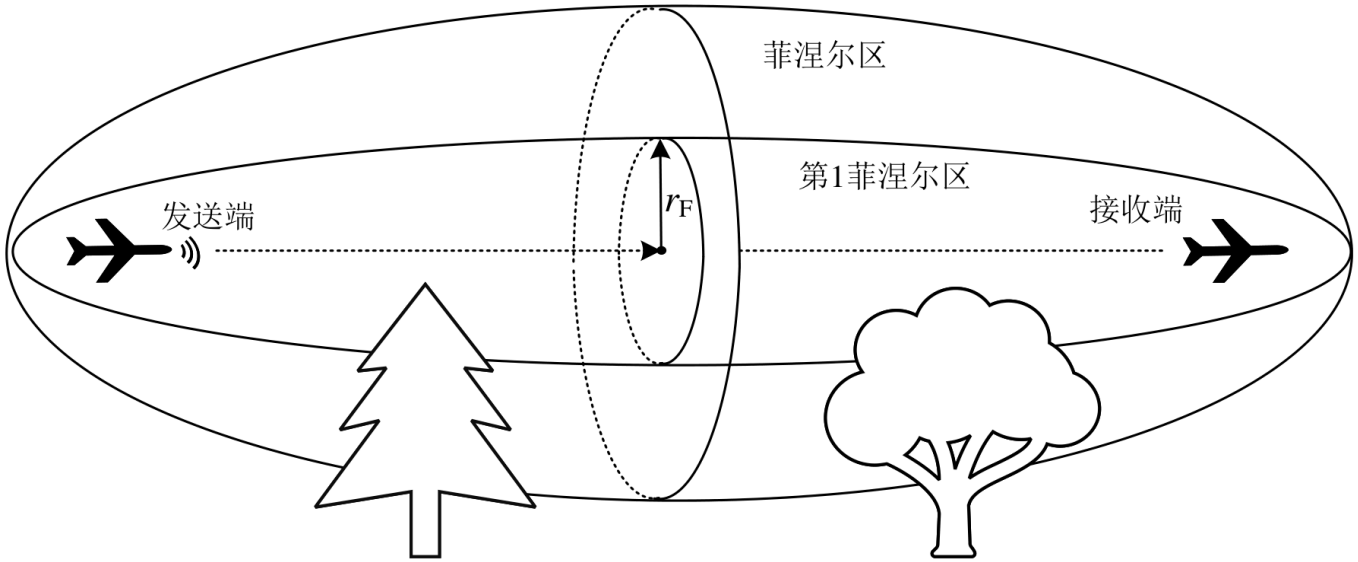


图9.6 无线通信中的菲涅尔区域

定义：第一菲涅尔区边界对应半波长路径差。

输入：频率、两端距离、障碍位置与顶端高度。

输出：该位置的区半径、净空比和绕射风险。

9.8.2 链路与路由计算：小角度近似

题7：第一菲涅尔区半径的推导

令 d_1, d_2 为截面到两端的距离，r 为径向距离，λ 为波长，均用m。

$$\Delta = \sqrt{d_1^2 + r^2} + \sqrt{d_2^2 + r^2} - (d_1 + d_2)$$

$$\Delta \approx \frac{r^2}{2d_1} + \frac{r^2}{2d_2} = \frac{\lambda}{2}$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \qquad (r_1 \ll d_1, d_2)$$

式(9.3)取区域阶次为1。近似适用于区半径远小于链路距离的情形。

9.8.2 链路与路由计算：数值计算

题7：1 km链路的半径与净空

取2.4 GHz、1 km链路，先算中点处：两端距离各500 m。

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125\ \text{m}$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{0.125 \times 500 \times 500}{1000}} = \sqrt{31.25} \approx 5.59\ \text{m}$$

$$h_{\text{clear,screen}} = 0.6 r_1 \approx 3.35\ \text{m}$$

教学筛查：障碍顶端低于直视线至少3.35 m。0.6是常用半径净空筛查值，最终仍按地形和传播模型评估。

靠近发射端100 m的位置，区半径约3.35 m；不能对整条路径使用同一固定半径。

9.8.2 链路与路由计算：净空分析

题7：遮挡场景的判据与改进

教学条件：中点直视线离地12 m，平坦地面，第一菲涅尔半径5.59 m；以净空大于等于3.35 m筛查。

障碍高	直视线净空	净空比	参考判断
8 m	4 m	0.716	通过当前几何筛查
9 m	3 m	0.537	不足0.6半径，需绕射模型
13 m	−1 m	−0.179	遮挡直达路径，进一步估算损耗

9 m障碍情形：两端各升高约0.36 m，或仅一端升高约0.72 m，再另留工程余量。

9.8.2 链路与路由计算：由几何到损耗

题7：单刀刃模型的附加损耗示例

教学简化：单刀刃障碍，顶端高于视线 $h = 1$ m；两侧各500 m，波长0.125 m。

$$\nu = h\sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \approx 0.253$$

ν：无量纲遮挡参数；J：附加绕射损耗（dB）；M：剩余链路裕度。

$$J(\nu) \approx 6.9 + 20\log_{10}\left(\sqrt{(\nu - 0.1)^2 + 1} + \nu - 0.1\right)$$

$$J(0.253) \approx 8.22\ \text{dB}, \qquad M \approx 12.96 - 8.22 = 4.74\ \text{dB}$$

近似式用于 $\nu > -0.78$。按式(9.4)计入损耗，本例不足10 dB储备；多障碍另选模型。

9.8.2 链路与路由计算：ETX模型

题8：把成功概率转成期望传输次数

题8：构建基于 ETX（预期传输次数）指标的路径选择模型，通过实例验证并进行策略有效性分析。

定义 $d_f, d_r \in (0,1]$ 为前向数据与反向确认成功率。假设独立、平稳，重试条件一致。

$$p = d_f d_r, \qquad E = 1 + (1-p)E \quad \Rightarrow \quad E = \frac{1}{p}$$

p为单次成功概率；E为直到成功的期望尝试次数（含首次）。

$$\mathrm{ETX}(u,v) = \frac{1}{d_f d_r}, \qquad C(P) = \sum_{(u,v)\in P} \mathrm{ETX}\,(u,v)$$

ETX为无量纲期望尝试次数；路径代价采用逐跳和，对应教材式(9.6)-(9.7)。

9.8.2 链路与路由计算：算例代入

题8：直达与两跳路径的完整比较

候选链路	前向成功率	反向成功率	单跳ETX
A→C	0.4	0.8	3.125
A→B	0.9	0.9	1.2346
B→C	0.9	0.9	1.2346

$$C(A \to C) = 3.125 > \frac{1}{0.81} + \frac{1}{0.81} \approx 2.469 = C(A \to B \to C)$$

参考选择：按ETX选A→B→C，期望总尝试次数较少；不能据此保证最低时延。

9.8.2 链路与路由计算：策略求解

题8：用最短路算法恢复下一跳

迭代	已确定节点	到B的暂定代价	到C的暂定代价
初始化	A	1.2346，前驱A	3.125，前驱A
确定B，松弛C	A、B	1.2346	2.4691，前驱改为B
确定C	A、B、C	不变	最优路径已确定

输出路由：目的C，下一跳B，总ETX约2.469。若某链路成功率为0，则将该边视为不可用。

9.8.2 链路与路由计算：敏感性与协议

题8：有效性分析与实现边界

设两跳链路的前向、反向成功率均为s；与直达ETX=3.125比较。

$$2/s^2 < 3.125 \quad \Rightarrow \quad s > 0.8$$

条件变化	对策略的影响
成功率随时间变化	估计窗口需平衡噪声与响应；过旧统计会误选路径
低速率或严重排队	ETX较小仍可能时延较大，需联用容量/时延约束
相关丢包与有限重传	独立平稳几何模型失准，应记录实际交付与代价
具体协议实现	ns-3 3.43的OLSR采用RFC 3626基础实现； ETX扩展必须另核对源码与配置

本章目录

习题与课堂讨论

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 3 个教学单元

9.8.1 概念与工程判断

教材对应：第9.4节，题1-5

9.8.2 链路与路由计算

教材对应：第9.4节，题6-8

9.8.3 组网设计与综合验证

教材对应：第9.4节，题9-10

9.8.3 组网设计与综合验证：设计假设与拓扑

题9：30节点分簇的参考方案

题9：针对30架无人机的集群，设计兼顾网络稳定性与传输效率的分簇方案及QoS策略，确保关键控制指令的传输时延严格低于100ms。

源成员
所属簇内一跳 → **源簇首**
主用与热备 → **目的簇首**
簇首间一跳 → **目的成员**
簇内一跳

教学方案：5簇×6机；簇首按链路、相对运动、能源和负载选择，边界切换采用滞回与最短驻留。

前提：最多3跳、容量可接纳、最多一次受控切换；长期网络分区不属于100 ms交付承诺范围。

9.8.3 组网设计与综合验证：容量计算

题9：业务预算与准入条件

教学假设：每机100 B×50 Hz，每条消息一次目标交付；最多3跳，协议与受限重传开销系数暂取2。

$$R_{\text{payload}} = 30 \times 100 \times 50 \times 8 = 1.2\ \text{Mbit/s}$$

$$R_{\text{air,budget}} \leq 1.2 \times 3 \times 2 = 7.2\ \text{Mbit/s}$$

$$7.2 < 0.7 \times 20 = 14\ \text{Mbit/s}$$

假设同一竞争域可用容量20 Mbit/s，准入上限取70%，其余留作余量。增加目标副本或视频后须重新预算，并核对簇首峰值负载。

9.8.3 组网设计与综合验证：服务质量策略

题9：按业务设定QoS与队列策略

业务	参考配置与处理	目的
关键指令	可靠传递 + 应用确认与序号； 有界重试、过期拒绝、重复指令不重复生效	提高交付可知性， 限制迟到与重复执行
周期状态	KEEP_LAST浅历史； 按业务设Deadline / Lifespan	检测更新缺失， 避免积压过旧状态
图像与日志	限速、低优先级、有界队列； 拥塞时降频或丢弃可替代内容	保护关键业务的容量和 队列

Fast DDS 3.6.2/3.7.0.1文档将LatencyBudget标为未来实现；该参数不能单独保证端到端时限。

9.8.3 组网设计与综合验证：时延预算

题9：严格小于100 ms需要可证明的上界

环节	上界预算	成立条件
应用调度 + 编码	10 + 5 ms	高优先级，执行时间有界
全路径队列等待	10 ms	准入限制、优先队列和受控突发
最多3跳接入/发送/重试	3×12 = 36 ms	每跳服务保证与重试有界
中转 + 目标处理	5 + 9 ms	转发处理和消费任务均有界
一次受控切换	15 ms	热备就绪且切换时间有界

$$D_{\text{bound}} = 10 + 5 + 10 + 36 + 5 + 9 + 15 = 90\ \text{ms}$$

若计时误差上界为3 ms，则保守计入后为93 ms，仍小于100 ms。

9.8.3 组网设计与综合验证：保证的条件

题9：故障处理与验收范围

稳定性机制：主簇首与热备持续同步必要状态；变更有滞回，路径变化期间继续跟踪关键指令序号和期限。

严格判据：生成至消费的最坏时延加测量误差小于100 ms，且关键指令无丢失、无超期；不以P95代替最大界。

压力与故障：在最大允许业务、最远距离和一次切换条件下测试；超载、分区或第二次故障需触发重新准入或降级。

参考结论：5簇方案是可检验设计；只有各项上界及适用条件成立，才可在该范围内承诺时限。

9.8.3 组网设计与综合验证：全流程设计

题10：联合仿真比较的对象与阶段

题10：搭建 RflySim 与 NS-3 联合仿真平台，实施全流程仿真测试，并对各阶段仿真结果的差异特性进行对比分析与归因探究。



共同比较：逐包交付、P95/最大时延、信息年龄、连续失联与跟随误差；模型内部统计另列。

9.8.3 组网设计与综合验证：平台搭建

题10：真实入口与准备条件

父目录：[安装目录]/RflySimAPIs/9.RflySimComm/；各例程先读 Readme.pdf。

目的	相对目录	入口
最小状态通路	0.ApiExps/e1.RflyNetAPIExps/ 1.P2PSendData/	SITLRun2MavlinkFull.bat 先UAV2Ctrl.py，后UAV1Ctrl.py
粗粒度对照	2.AdvExps/e1.CoaGraNetSimExps/ 1.NetSim4Demo/	SITLRun4MavlinkFull.bat 再PythonRunALL.bat
NS-3依赖联调	0.ApiExps/e6.NS3DepsTestExps/	RflyNet.cc、TestSend.py
控制联合仿真	3.CustExps/e2.NS3_UAVCommExps/ 4.NS3-Ctrl/	OneScript.bat 仅限完整版及以上

9.8.3 组网设计与综合验证：联接契约

题10：运动与网络模型的对应

RflySim侧	NS-3侧	核对方法
载具ID与业务源/目标	Node与应用端点	固定两节点发一条带序号消息
位置、速度、时间戳	MobilityModel与事件时间	逐点核对轨迹的单位与方向
业务字节、频率	Application及发送事件	对比生成总数和有效负载大小
接口输入与模型出口	NetDevice / Channel / 路由	记录包经过模型的入口和出口
控制输入与任务误差	到包序列与包事件	同窗对齐通信变化与控制误差

9.8.3 组网设计与综合验证：完整流程

题10：从准备到结束的操作方案

准备：固定版本、参考轨迹与业务参数；定制案例仅限完整版及以上，需 RflySim-20.04、ns-3.33定制树及相应路由模块。

启动：入口会解压/复制源码、sudo配置构建并启动进程。分别检查构建退出状态、节点映射、UDP收发和控制输入。

采样：先预热，再统一开始窗口；同时记录源/目标ID、序号、字节数、生成/接收/使用时刻、位置和控制误差。

结束：停止业务，按约定排空，再 Ctrl+C 结束本次控制、模型和界面；异常阻塞按PID定位，保留日志后恢复副本。

9.8.3 组网设计与综合验证：对照试验矩阵

题10：一次只改变一个网络因素

试验	改变项	固定项与采样
A 理想基线	移除人为网络退化	四机参考轨迹、初值、控制器 100 B / 50 Hz
B 距离退化	仅改变距离或模型质量参数	相同消息与轨迹生成规则
C 竞争与路由	NS-3中增加背景流量或链路变化	设备/信道/路由配置逐项记录
D 恢复与故障	一次可定位断链或节点退出	定义故障时刻、恢复判据和排空期

建议：预热10 s、采样60 s、按约定排空，每组10次。

9.8.3 组网设计与综合验证：教学数据，非实测

题10：示例记录的指标复算

共同口径：单源-目标，发送3,000条，每条100 B，窗口60 s；去重并排空。下表全部为教学示例，非实测。

示例情形	接收条数	丢包率	有效吞吐	P95时延
直连记录样例	2,997	0.1%	39,960 bit/s	5 ms
粗粒度记录样例	2,850	5.0%	38,000 bit/s	35 ms
细粒度记录样例	2,790	7.0%	37,200 bit/s	60 ms

$$G_{\text{example}} = \frac{2790 \times 100 \times 8}{60} = 37200 \text{ bit/s}$$

9.8.3 组网设计与综合验证：分析闭环

题10：差异归因与完成判据

差异现象	候选原因	进一步验证
时延尾部变长	排队、接入竞争、重传、调度	固定链路只改变业务负载，查队列事件
丢包显著增加	信道错误、队列满、无路由	按丢弃原因和时间位置分组
通信相近 控制误差变大	旧状态、坐标/时钟错配、旁路	按序号追踪实际使用的输入
粗细模型差异稳定	粗模型未表示的竞争/路由机制	逐项启停机制，保持其余条件相同

完成判据：配置可复现、无旁路、统计可复算、差异有证据；实测另验。

练习与讨论

课堂讨论：更可靠的消息为何可能更旧

讨论1：有序补发大量历史状态后，丢包率降低，但信息年龄增大。对于跟随控制，这一定是改进吗？

讨论2：关键任务指令与50 Hz位置状态，是否应使用同样的历史深度、重传和到期策略？

讨论3：负载翻倍或簇首退出时，怎样调整准入、限速和降级，才能保留可解释的时延承诺？

参考要点

讨论参考：期限、可靠性与业务语义

讨论	参考解法
可靠但陈旧	对周期状态按时效筛选，比较信息年龄与误差； 补齐过期状态可能增加队列并推迟新消息
指令与状态	指令用确认、序号、幂等及期限； 状态用浅历史、到期过滤与缺失检测
负载与簇首故障	关键业务优先，非关键业务限速； 热备切换后重新核对容量、路径与预算
证据范围	通过指定工况只支持该工况； 严格时限同时依赖上界分析和运行验证

本章小结

本章小结：通信条件决定协同信息边界

概念：有效通信使节点获得任务所需信息，链路、消息格式、分发与路由分工明确。

方法：负载预算、路径损耗与裕度、菲涅尔净空、ETX选路，再用共同统计口径做对照验证。

易错点：更新频率不是网络时延；低ETX不保证最低时延；QoS与平均值都不能单独证明严格时限。

进入第十章：《集群协同与博弈对抗》研究节点如何利用可获得的信息协同行动，并应对陈旧、缺失与不确定性。