WANLAN ANYMESH · RAILWAY COMMUNICATION SOLUTION

货运列车视频监控自组网通信解决方案

多跳Mesh车载组网 · 地面/隧道中继 · 300米车厢高清视频回传

北京万蓝科技有限公司 · AnyMesh产品事业部

2026年10月 · 技术方案V1.0

目录

CONTENTS

01 业务场景与需求分析
货运列车视频回传、复杂地形覆盖

02 系统总体架构
车内Mesh + 地面中继 + 隧道中继三层架构

03 车内组网方案
车尾A5 + 车厢A2 + 车头A5多跳链路

04 地面/隧道中继部署
SDR-A4中继节点选址与覆盖设计

05 设备选型与配置
SDR-A5/A4/A2全系列设备参数对比

06 关键技术体系

07 链路预算与带宽分析
多跳链路预算、20Mbps带宽保障

08 抗毁自愈与移动性管理
Mesh自愈合、快速切换、链路备份

09 多列车协同组网
16列车同频段组网与频率规划

10 典型应用场景
隧道、弯道、复杂地形通信保障

11 成功案例
铁路/轨道交通行业落地实践

12 方案优势与总结

货运列车车厢视频回传，300米编组非视距通信

01 · 业务场景与需求分析

核心业务需求

- 车尾末端部署200万像素高清摄像头，实时监控车厢尾部货物状态
- 车头驾驶室配置显示终端，驾驶员可实时查看车尾画面
- N节车厢编组，列车总长度最长达300米
- 全线16列货运列车同时在线运行

通信环境挑战

- 列车运行经过弯道、隧道、山地等复杂地形
- 金属车厢车体屏蔽，车厢间非视距（NLOS）传输
- 隧道内信号衰减严重，地面常规网络无法覆盖
- 高速移动场景下链路需快速切换与重路由

列车最大长度

300米

N节车厢编组

在线列车规模

16列

同线路并行运行

最低通信带宽要求

≥20 Mbps

高清视频实时回传

传统车地通信在金属车厢与隧道场景下存在四大瓶颈

01 · 业务场景与需求分析

金属车体屏蔽

货运车厢为全金属封闭结构，电磁波穿透衰减达20-30dB，单跳无法贯通整列300米编组。

隧道非视距覆盖

山区隧道长度可达数公里，公网信号完全中断，地面基站无法穿透覆盖洞内。

弯道遮挡中断

线路弯道半径小，山体遮挡导致车地视距中断，直放站方案无法跟随列车移动。

高速切换时延

列车时速80-120km/h，传统蜂窝切换时延达秒级，视频流频繁卡顿中断。

AnyMesh多跳自组网的解决路径

多跳中继
车厢间部署便携节点，逐跳穿透金属屏蔽

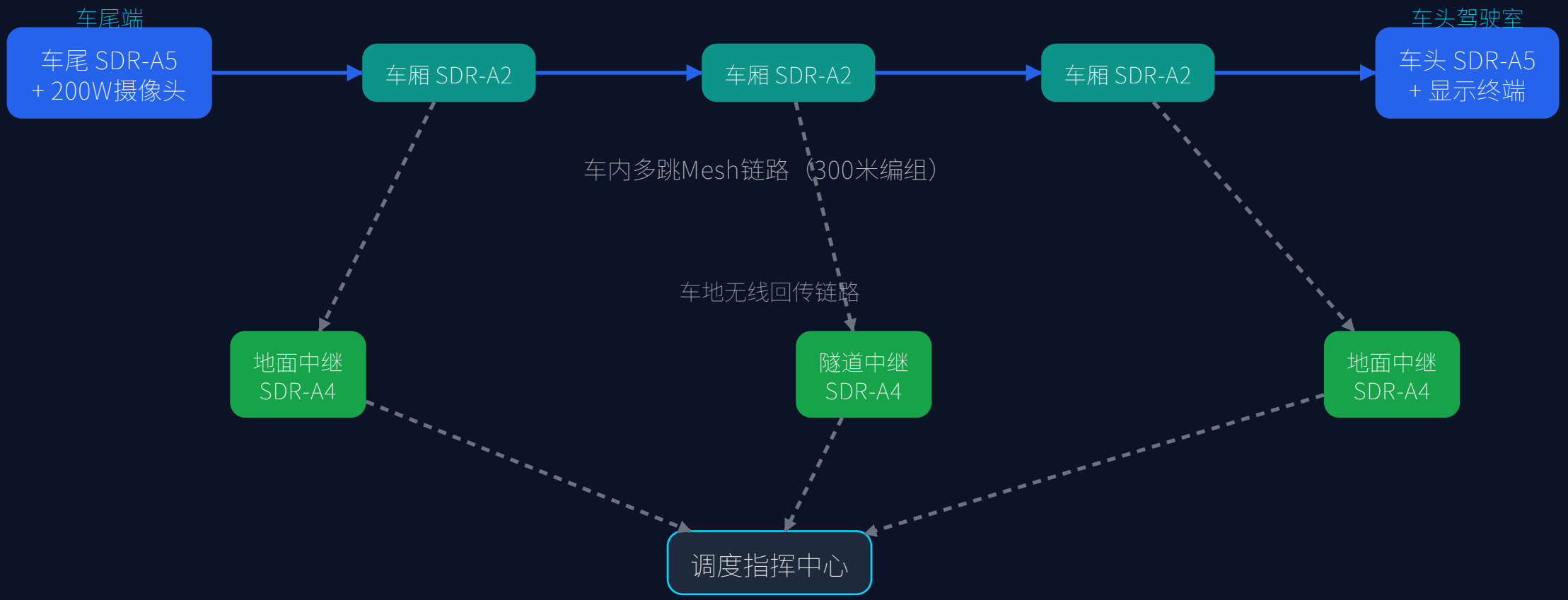
隧道补盲
隧道内定点部署A4中继，延伸覆盖纵深

沿线布点
弯道山体外侧部署地面A4中继节点

毫秒级切换
Mesh链路自愈合，重路由时间<100ms

三层架构：车内Mesh + 沿线中继 + 指挥中心

02 · 系统总体架构



图例：蓝色节点=SDR-A5车载台 · 青色节点=SDR-A2便携台 · 绿色节点=SDR-A4固定中继 · 实线=车内多跳链路 · 虚线=车地无线链路

车内多跳组网：车尾A5 → 车厢A2 → 车头A5

03 · 车内组网方案



节点部署要点

- 车尾SDR-A5：安装于末节车厢尾部，外接200W高清摄像头，10W发射功率
- 车厢SDR-A2：每80-100米部署一台，磁吸或捆绑式安装于车厢侧壁
- 车头SDR-A5：安装于机车驾驶室，外接显示终端，10W发射功率
- 天线方案：车厢内使用全向吸顶天线，车端使用棒状全向天线

链路性能指标

指标	单跳	3跳端到端
带宽	≥60Mbps	≥20Mbps
时延	<8ms	<25ms
通信距离	80-100m	300m

沿线SDR-A4中继：弯道补盲 + 隧道纵深覆盖

04 · 地面/隧道中继部署

地面中继部署（SDR-A4）

- 选址：弯道外侧山脊、车站、大桥两端、沿线制高点
- 间距：平原/直道3-5km一站，山区弯道1-2km一站
- 天线：八木天线或板状定向天线，对准线路方向
- 供电：太阳能+蓄电池，或就近取电

隧道中继部署（SDR-A4）

- 间距：隧道内每500-800米部署一台吸顶中继
- 天线：全向吸顶天线，安装于隧道拱顶
- 出入口：隧道口各部署一台，与地面基站衔接
- 供电：隧道内就近取电，UPS备电

沿线覆盖链路示意



列车驶出隧道时自动切换至地面中继链路，驶入隧道时无缝衔接洞内中继节点，全程无盲区覆盖

三款AnyMesh设备覆盖车载、便携、固定全场景

05 · 设备选型与配置

参数项	SDR-A5（车载型）	SDR-A4（固定中继）	SDR-A2（便携型）
发射功率	10W（40dBm）	20W（43dBm）	4W（36dBm）
最大带宽	65Mbps/可选125M版本	65Mbps/可选125M版本	65Mbps
单跳时延	<7ms	<7ms	<7ms
通信距离	视距10-15km	视距15-20km	视距3-5km
供电方式	AC 220V / DC 36V车载供电	AC 220V / 太阳能	内置锂电池
重量	4.2kg	8.5kg（室外型）	1.8kg
部署位置	车头/车尾	地面/隧道固定	车厢侧壁便携

数据来源：万蓝通信AnyMesh产品规格书 V3.2 · 实际性能受环境、天线增益和频率配置影响

SDR + COFDM + Mesh协议，三重技术保障非视距通信

06 · 关键技术体系

SDR软件无线电

- 全可编程FPGA架构，频率/带宽/调制方式可软件配置
- 支持300MHz-6GHz全频段可定制
- 带宽可调：1.25/2.5/5/10/20MHz
- 全国产化芯片方案，自主可控
- 数字中频直接采样，模拟链路极简

COFDM调制

- 编码正交频分复用，抗多径干扰能力强
- 256个子载波并行传输，频谱效率高
- 支持移动速度120km/h以上
- 非视距(NLOS)环境下仍可稳定解调
- 信道编码：卷积码+RS码级联纠错

Mesh自组网协议

- 无中心自组织，开机40秒内自动组网
- OLSR路由协议，链路质量感知
- 多跳中继，支持8跳以上
- 节点增减自动重路由，<100ms恢复
- 带宽自适应，链路差时自动降速保通

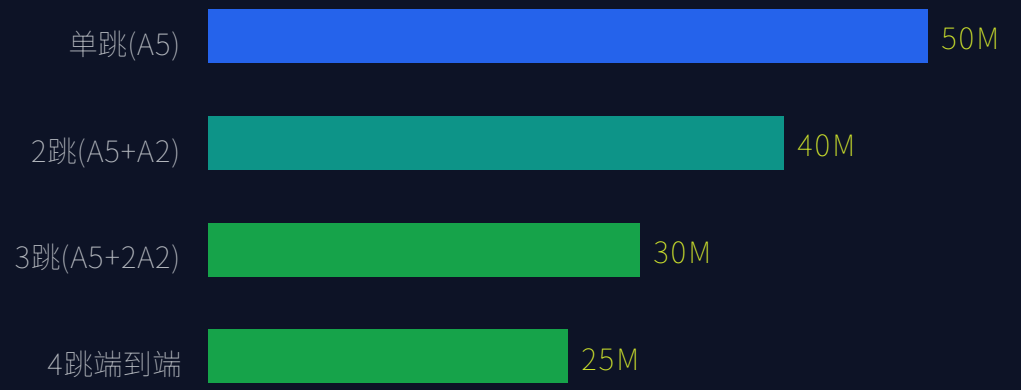
三重技术协同：SDR灵活配置频率与带宽 · COFDM对抗金属车厢多径衰落 · Mesh协议实现多跳自愈合

3跳链路预算：端到端25Mbps带宽余量充足

单跳链路预算（典型值）

参数	数值	备注
发射功率(A5)	40 dBm	10W
发射天线增益	3 dBi	全向天线
自由空间路径损耗(80m)	72 dB	5.8GHz
车厢穿透损耗	15 dB	金属车体
接收天线增益	3 dBi	全向天线
接收机灵敏度	-95 dBm	COFDM
链路余量	54 dB	充足

多跳带宽衰减分析



结论：300米编组按3跳中继计算，端到端可用带宽约25-30Mbps，高于20Mbps需求阈值，余量25%以上。

需求线：20Mbps（红色虚线基准）

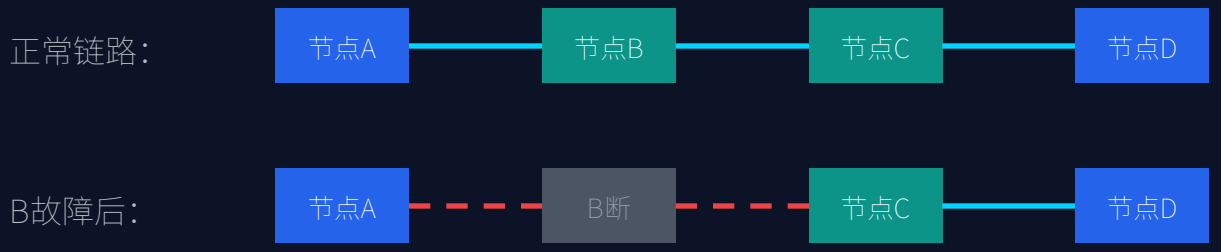
计算假设：1.4GHz频段、车厢间距80米、金属车体穿透损耗15dB、COFDM 10MHz带宽模式 · 实际值以现场测试为准

无中心自愈合：节点故障自动绕行，<100ms恢复

08 · 抗毁自愈与移动性管理

<40s	<100ms	120km/h	8跳+
快速组网	故障自愈	高速移动	多跳扩展
所有节点上电自动发现邻居，无中心自组织成网	某节点断电/遮挡，自动绕行邻节点，业务不中断	COFDM抗多普勒，列车高速行驶下链路稳定	支持8跳以上中继，覆盖纵深可达数公里

链路故障重路由机制



A自动发现C为新下一跳
绕行B，业务恢复时间<100ms

16列车同频段组网：信道复用+时间分片互不干扰

09 · 多列车协同组网

频率与信道规划

频段	信道数	复用方案
1.4GHz	20个信道	每列专用1信道
2.4GHz备选	20个信道	备份/应急
信道带宽	10MHz	间隔5MHz
最大列车数	16列	4信道×4复用

干扰规避机制

- 空间隔离：同信道列车间距>5km，天然隔离
- 功率控制：车载台10W，车厢中继2W，控制干扰范围
- 动态调频：检测到干扰自动切换空闲信道
- 网络ID隔离：每列车独立Mesh网络ID，互不接入
- 隧道补盲：隧道内中继独立信道，避免车地互扰

全网规模估算（单线路）

16列车 × (2台A5 + 3台A2) = 80台车载节点 · 沿线约50-80台A4中继 · 隧道内约20-30台A4 · 全网节点总数约150个

三类典型场景：隧道、弯道、山区全链路覆盖

场景一：长隧道

环境：隧道长2-5km，全封闭混凝土结构

部署：每500米一台A4室外基站中继台

链路：车载A5 ↔ 隧道A4逐跳延伸

效果：

隧道内全程≥20Mbps

出入口无缝切换

场景二：小半径弯道

环境：弯道半径300-500m，山体遮挡

部署：弯道外侧山脊设A4定向站

链路：车载A5 ↔ 山脊A4跨弯通信

效果：

弯道处不中断

视距距离3-5km

场景三：山区复杂地形

环境：沟壑纵横，多起伏遮挡

部署：沿线制高点间隔1-2km设站

链路：多跳接力，逐站传递

效果：

全线无盲区覆盖

太阳能供电无人值守

三类场景覆盖方案已在全国多条铁路、公路沿线项目中验证，实际性能以现场勘测为准

AnyMesh在交通、应急、能源领域已有规模化落地

深圳海警海上执法通信

多艘执法船编队组网，海上10-15km视距通信，视频回传至指挥船。采用SDR-A5船载型。

西部山区隧洞施工通信

3km长隧道内逐跳中继，施工面视频和语音回传至洞口指挥中心。采用SDR-A4洞内固定部署。

西北光伏电站巡检

巡检车车载Mesh + 场区固定中继，实现全场区视频监控和巡检人员定位回传。

特警城市反恐演练

单兵手持A1图传 + 指挥车A5接收，城市复杂建筑环境下非视距传输。

应急指挥车卫星联动

车内Mesh自组网回传至车载卫星站，再上行至指挥中心，实现野外应急通信。

森林防火应急通信

巡护队员单兵Mesh + 瞭望塔固定中继，山区复杂地形下语音和视频回传。

以上案例均为万蓝通信已交付项目，详细案例资料可另行提供

方案核心优势

SOLUTION SUMMARY

01 带宽充足，满足高清视频

3跳端到端≥25Mbps，200W摄像头实时回传无卡顿

02 快速部署，便携即装即用

SDR-A2车厢安装，车厢间5分钟完成组网调试

03 抗毁自愈，业务不中断

无中心Mesh架构，节点故障100ms自动绕行

04 全场景覆盖，隧道弯道无盲区

车内Mesh + 地面中继 + 隧道补盲三层架构

05 成熟可靠，多领域规模化验证

海警、隧洞、光伏、特警、应急等数十个项目落地，技术成熟度有充分保障