

海上无人船集群作业“空-海”一体化自组网通信解决方案

基于万蓝AnyMESH自组网技术，打造低延时、高带宽、自愈合的海上通信专网，实现全域协同与实时指挥。

北京万蓝拓通信技术有限公司 | 2026年7月

目录 CONTENTS

01 项目背景与挑战

剖析海洋经济发展下无人船的应用趋势，直击海上通信面临的高损耗、高动态等核心技术瓶颈。

02 解决方案总体设计

构建“空-海”一体化通信网络架构，整合天通、5G与自组网技术，搭配高适配的船载核心设备。

03 核心技术详解

深度解析AnyMESH自组网的无中心组网特性，以及抗多径衰落、高灵敏度的物理层关键技术。

04 业务应用与性能保障

分析多业务并发下的带宽分配与覆盖能力，从链路冗余、干扰抑制等维度保障通信稳定性。

05 方案优势与价值

凸显方案在组网灵活性、通信可靠性上的核心优势，助力提升海洋作业效率与安全管控水平。

06 实施与部署

明确设备安装调试、网络参数配置的实施步骤，配套完善的系统联调测试与技术人员培训。

01 项目背景与挑战



海上无人船（USV）作为智能化海洋作业平台，正逐步成为海洋经济发展的核心驱动力之一。

海洋经济下的无人船多元应用场景

海洋勘探测绘
高精度海底地形测绘与资源勘探，实现高效、低成本的数据采集。

生态环境监测
全天候监测水质、气象与海洋生态，为海洋环境保护提供数据支撑。

应急海上救援
快速响应执行搜索与救援任务，深入危险海域，降低人员伤亡风险。

智慧渔业养殖
实现精准捕捞、养殖环境监测与投饵，提升渔业生产效率与品质。

项目核心目标：构建高效可靠的集群通信网络

实现母船对40公里范围内的25艘无人船进行实时远程控制与高清视频监控，满足大规模协同化海上作业需求。

AnyMesh

01 项目背景与挑战

在远离海岸的广阔海域，传统通信技术因基础设施匮乏、环境复杂多变等因素，难以满足无人船集群对高带宽、低延迟、高可靠通信的迫切需求，核心挑战主要集中在五个关键维度：

基础设施覆盖缺失

远海区域完全脱离陆地公网（4G/5G）覆盖，基站等通信设施因地理条件限制难以部署，形成天然的通信盲区，传统陆地通信手段完全失效。

卫星通信成本与性能瓶颈

传统卫星通信带宽受限、传输延迟高，且资费极其昂贵，难以支撑多路高清视频回传、实时传感器数据交互及低延迟控制指令的稳定传输。

海上信道环境极其复杂

海面存在严重的多径效应和电磁干扰，加之盐雾腐蚀和海浪颠簸，对通信设备的信号稳定性、抗干扰能力及硬件防护等级提出了极高的工业级要求。

高带宽与低延迟的极致需求

无人船集群作业需要同时传输多路高清监控画面、高精度传感器数据以及毫秒级的实时控制指令，这对通信网络的吞吐量和端到端延迟都有着严苛的指标要求。

动态拓扑与高可靠性组网

无人船在海面高速移动导致网络拓扑结构持续动态变化，通信系统必须具备快速自组织、自发现和自愈合能力，确保在节点移动或故障时链路不中断。

02 解决方案总体设计

方案设计理念：“空-海”一体化自组网

本方案基于万蓝AnyMESH无线宽带自组网技术，构建以空中直升机为中继节点，25艘无人船为终端节点的一体化通信网络。该架构通过灵活的拓扑结构与智能组网算法，完美适配海上无人船集群的动态作业场景，为远海作业提供稳定、低延时、高可靠的全域通信保障。

无中心网络

所有节点地位完全平等，不存在单点故障风险，从架构底层保障网络的高可用性与稳定性。

自组织部署

节点开机即自动发现邻居并组网，无需人工干预配置，适应快速机动部署与临时组网需求。

多跳中继

数据通过多个节点接力转发，极大扩展通信覆盖范围，轻松应对广阔海域的长距离通信需求。

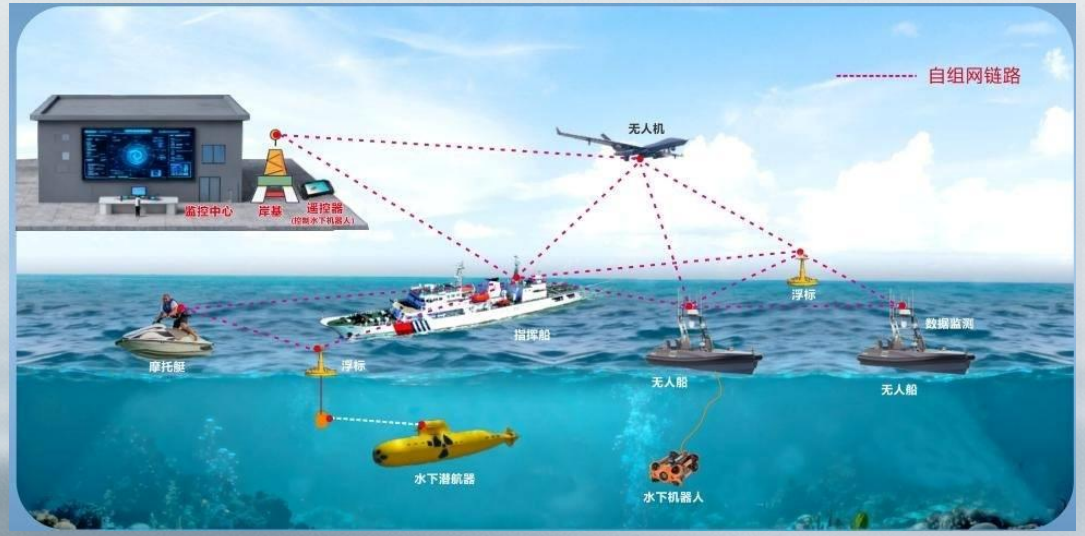
高带宽传输

支持多路1080P/4K高清视频实时回传及大数据量并发传输，满足多样化的海上业务通信需求。

抗毁自愈

网络具备毫秒级拓扑重构能力，局部节点故障或损毁时自动重路由，保障通信不中断。

02 解决方案总体设计



该架构通过自组网技术打破了传统通信的距离限制，构建起“天-空-海”一体化的通信闭环。从指挥决策到末端执行，三层网络协同配合，确保了数据传输的低延时与高可靠性，为远海作业提供了坚实的通信保障。

指挥层：母船核心中枢

部署万蓝SDR-A3-2W自组网模块，作为全局指挥与数据汇聚中心，负责无人集群的任务调度、航线规划及实时态势监控。

中继层：空中通信枢纽

直升机搭载SDR-A3-4W高功率电台，作为空中移动基站，有效克服地球曲率影响，将通信覆盖半径扩展至百公里级，保障超视距通信。

执行层：无人船感知集群

25艘无人船搭载 SDR-A3-2W 型号模块，作为分布式感知节点，实时回传高清影像与水文数据，并精准执行母船指令，实现编队协同作业。

02 解决方案总体设计

核心设备：万蓝SDR-A3-4W/2W 机载自组网电台（可选百兆版本和千兆版本）





核心定位：空中通信枢纽

作为无人机/直升机搭载的中继核心节点，它如同空中桥梁，连接海面母船指挥中心与分散作业的无人船集群，实现广域范围内的信号覆盖与指令同步，保障复杂海域下的稳定互联。

专为低空平台设计

机身轻量化设计完美适配无人机与直升机平台，输出功率达4W/2W，在保证便携性的同时，提供强劲的信号穿透力，满足高机动作业需求。

抗干扰自组网技术

采用TDD-COFDM与MIMO先进调制技术，具备极强的抗多径干扰能力。即使在高楼遮挡、复杂地形等非视距(NLOS)环境下，仍能保持链路稳定畅通。

超远距高速传输

峰值数据速率可达70Mbps/125Mbps，地空视距通信距离覆盖60-100公里。足以支撑高清视频回传与大容量数据交互，满足大作业半径的任务要求。

AnyMesh

02 解决方案总体设计



工业级防护标准

具备IP65高防护等级，无惧海上盐雾、潮湿与震动；体积紧凑、功耗极低，专为无人船与母船的严苛工业环境打造，稳定运行。

无中心自组网架构

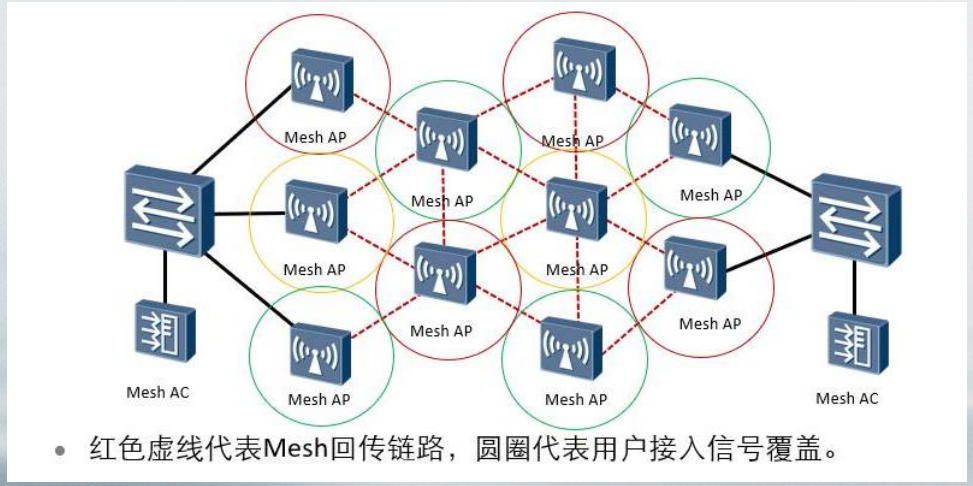
无需预设基站，节点即插即用，支持快速入网与动态拓扑；网络具备自愈合能力，任意节点故障不影响整体通信，保障链路畅通。

数据交互神经枢纽

母船端接入指挥中心，无人船端负责高清视频、传感器数据回传及控制指令接收，实现低延迟、高吞吐的双向通信保障。

AnyMesh

03 核心技术详解



- 红色虚线代表Mesh回传链路，圆圈代表用户接入信号覆盖。

如左图所示，AnyMESH自组网通过多节点互联形成网状拓扑结构，这种架构能有效解决海上远距离、遮挡环境下的通信难题，实现信号的接力传输与全覆盖。

无中心分布式架构

网络中所有节点地位完全平等，不存在单点故障风险。即使部分节点失效，也不会导致整个网络瘫痪，确保海上通信的高可用性。

多跳中继传输

数据可通过其他节点自动进行“接力”转发，突破单跳传输距离限制，极大地扩展了海上无人船集群的通信覆盖范围与作业半径。

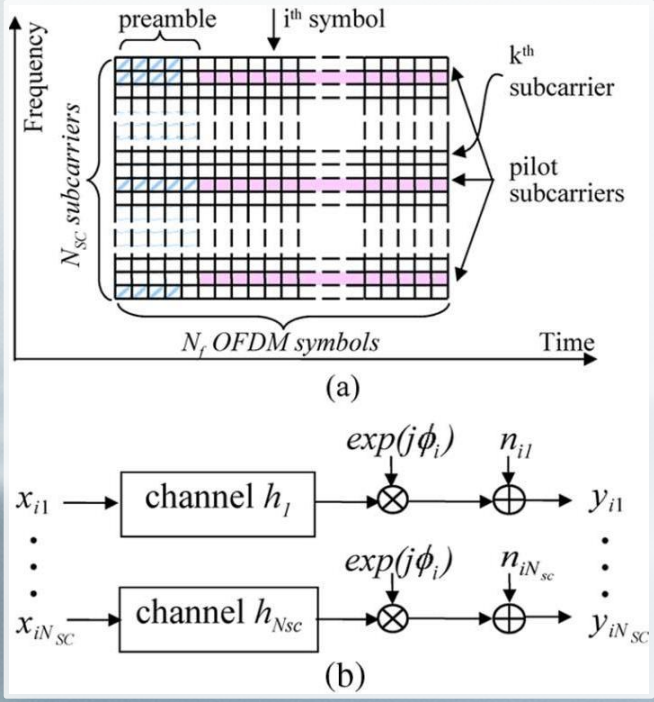
智能动态路由

采用毫秒级路由算法，自动计算并切换最优传输路径。能快速适应无人船的高速移动和海面环境变化，保障数据传输的低延迟与稳定性。

自组织与自愈合

新节点开机即可自动入网，无需人工配置。网络可自动检测并绕开故障节点，实现自我修复，大幅降低了海上复杂环境下的运维难度。

03 核心技术详解



图示：COFDM 正交频分复用数学模型与信号传输链路

关键物理层技术：COFDM 正交频分复用

该技术将高速串行数据流分解为多路低速并行子流，通过相互正交的子载波同时传输。这种独特的多载波传输机制，使其成为应对海面强多径效应、保障通信可靠性的核心解决方案。

抗多径干扰能力卓越

有效抑制海面反射、折射引发的信号叠加与干扰，解决复杂海面环境下的通信不稳定问题。

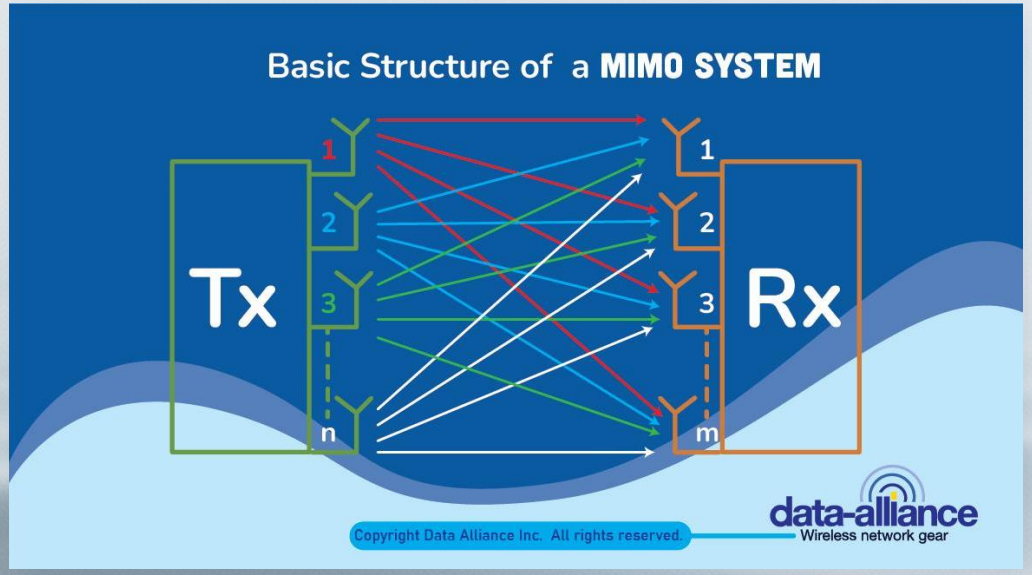
强抗频率选择性衰落

即便部分子载波因信道受损，其余子载波仍可独立传输数据，确保通信链路不中断。

频谱资源利用高效

子载波频谱相互重叠且正交，在有限的海事通信带宽内实现更高的数据传输速率。

03 核心技术详解



图示为MIMO系统的典型架构，通过发射端与接收端的多天线阵列协同，实现信号的空间复用与分集。这一技术如同为数据传输开辟了多条“空中车道”，是实现高速、稳定无线通信的关键基石。

MIMO 多输入多输出技术

核心原理：通过多根天线同时收发信号，利用空间维度并行传输多路数据流。
技术优势：在不增加频谱资源的情况下，显著提升信道容量与传输速率，有效增强信号的稳定性与覆盖范围，降低传输误码率。

TDD 时分双工技术

核心原理：在同一频段内，通过分配不同的时间时隙来区分上行与下行数据传输。
技术优势：频谱利用率极高，上下行资源可灵活配置，完美适配无人船控制中指令下发与状态回传频繁交互的业务特性。

04 业务应用与性能保障

01 业务负载总量核算

需并发传输5路1080P高清视频，叠加25艘无人船的实时控制信令与多维度传感器数据。按H.264编码标准，单路视频推荐码率为4-8 Mbps，5路合计总带宽需求达20-40 Mbps。

02 网络链路衰减模型

万蓝SDR-A3设备峰值速率可达70 Mbps（可选125Mbps版本）。数据经“无人船→直升机→母船”两跳传输，按无线多跳损耗模型每跳带宽减半，中继后链路可用带宽约为35-63 Mbps。

单路视频基准码率

4-8 Mbps（H.264高清编码）

设备峰值传输能力

70-125 Mbps（SDR-A3系列极限吞吐量）

中继后实际可用带宽

35-63 Mbps（足够满足5路并发需求）

方案结论：链路带宽与业务需求完全匹配，在保障5路高清视频稳定传输的同时，仍有充足余量承载无人船控制信令与传感器数据，确保海上作业的实时性与可靠性。

04 业务应用与性能保障



依托高性能机载通信设备，构建空地一体的广域通信覆盖网络，保障作业全程稳定连接。

覆盖范围：超视距通信保障

设备地空视距通信可达60-100公里，远超用户需求的40公里作业半径，提供充足的信号余量，确保在复杂海域环境下的通信稳定性与可靠性。

网络容量：高并发节点支持

系统单频支持64个节点同时在线，本方案仅需27个节点（25艘无人船+1母船+1直升机），网络负载低，具备极强的扩展潜力，可轻松应对未来规模扩张。

04 业务应用与性能保障

01 抗干扰能力

系统支持选配自适应跳频通信机制，能主动规避外部电磁干扰与恶意信号干扰，构建稳定可靠的通信安全屏障，确保数据传输在复杂电磁环境下不丢包、不失真。

02 环境适应性

全线设备采用工业级加固设计，达到IP65防护标准（嵌入式安装），可耐受海上高盐雾、高湿度、极端温差及强震动，在恶劣海洋环境下仍能保持全天候稳定运行。

03 低延迟传输

依托自组网高效路由算法，实现端到端毫秒级低延迟传输，完全满足海上远程设备实时控制、高清视频回传等对时效性要求极高的业务场景。

04 网络自愈合

具备动态拓扑感知与自动重路由能力，当单个节点故障或信号被遮挡时，网络可毫秒级自动发现并切换最优路径，确保整体通信链路不中断、业务不中断。

05 方案优势与价值

01 广域覆盖，突破限制

通过直升机空中中继组网，打破传统视距通信瓶颈，将有效通信距离从数公里延伸至40公里以上，实现大范围海域与空域的无缝覆盖。

02 高带宽，承载多媒体

提供高达40Mbps的可用通信带宽，轻松满足多路4K高清视频实时回传、无人机航拍画面传输及海量传感器数据的高速并发上云需求。

03 高可靠，自适应拓扑

采用无中心自组网架构与智能动态路由算法，即便在无人船高速机动、编队队形频繁变换或局部节点失联时，网络仍能快速自愈并保持稳定。

04 快速部署，灵活机动

设备开机即可自动发现并组网，无需依赖地面基站等基础设施，部署响应时间缩短至分钟级。支持根据任务需求，灵活调整组网规模与节点配置，适应多样化的海上作业场景。

05 专网专用，安全可控

构建物理隔离的独立通信专网，数据在链路层采用国密级加密算法进行端到端加密传输，有效防止信息泄露、恶意干扰及外部网络攻击，确保海上作业数据的绝对安全与可控。

06 实施与部署

01 设备安装部署

在母船部署指挥终端与SDR模块，直升机搭载高性能机载台，无人船集成通信与传感设备。确保各节点天线视野无遮挡，构建稳定的天地海一体化通信硬件基础。

02 网络安全配置

统一规划通信频段与信道带宽，配置独立的网络ID以避免干扰。采用军用级加密算法对传输数据进行端到端加密，确保指挥指令与视频数据的传输安全。

03 全系统联调测试

验证网络低延时与高带宽传输性能，测试高清视频实时回传效果。模拟船只机动、信号遮挡等复杂海况，验证自组网的动态拓扑与断网自愈能力。

04 操作与维护培训

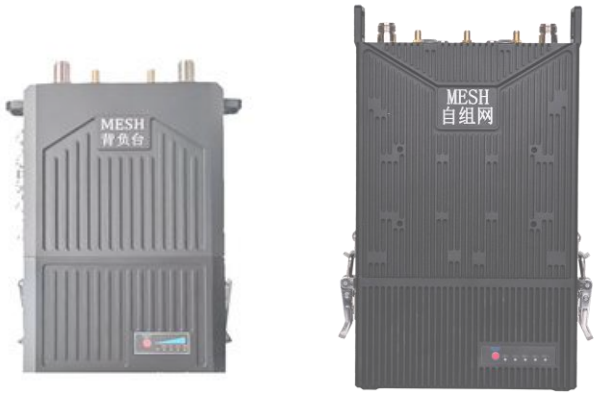
为指挥人员与技术保障团队提供系统操作、应急处置及设备维护的全流程培训。建立标准化操作手册与故障排查指南，确保人员熟练掌握系统运维能力。

AnyMesh产品矩阵（六大形态）



A1：自组网单兵手持台

采用轻量化便携式设计，重量轻、易携带，适用于单兵作战、公安执法及消防救援等复杂场景，保障人员通信畅通。



A2：自组网背负台（小基站）

可背负或固定部署，具备更大发射功率与更远通信距离，作为现场指挥节点和通信中继站，有效拓展网络覆盖范围。



A3：自组网机载台（模块）

高度集成的小型化模块，适配无人机、机器人等无人平台，实现无人机集群协同作业与无人车编队的稳定通信互联。

覆盖单兵、中继、无人平台三大核心移动场景，构建全地形、多维度、高韧性的应急通信网络，满足复杂环境下的互联互通需求。

AnyMesh产品矩阵（六大形态）



A4：自组网固定台（室外基站）

形态：室外型高功率设备，具备高防护等级，适配长期无人值守的严苛环境。
应用：构建广域覆盖的固定通信枢纽，作为核心节点支撑区域通信网络稳定运行。



A5：自组网车载台（1U机架式）

形态：标准1U机架式设计，易于车辆集成部署，完美满足移动场景下的“动中通”通信需求。
应用：广泛适配应急指挥车、装甲车队及移动指挥中心，保障机动过程中通信不间断。



A6：自组网指挥箱（三屏机）

形态：便携式一体化终端，集成电台、三屏显示电脑与电池，实现指挥、通信、供电一体化。
应用：可快速部署为临时指挥中心，适用于突发应急现场、野外作业等无依托环境。

AnyMesh核心优势总结与对比

对比维度	AnyMesh自组网电台	传统对讲机	公网通信 (4G/5G)	Wi-Fi (802.11)
基础设施依赖	无需基础设施，支持快速部署，适应无网环境。	无需，但仅支持窄带语音通信。	严重依赖基站覆盖，无基站区域无法通信。	依赖AP/路由器，覆盖范围有限且固定。
网络架构 & 移动性	无中心多跳架构，支持节点高速移动，网络动态自愈。	单跳或简单中继，仅支持低速、静态场景。	有中心架构，移动性中等，切换延迟较高。	有中心架构，仅支持低移动性，漫游体验差。
性能、抗扰与安全	带宽达100+Mbps，COFDM+扩频抗干扰强，支持加密传输，安全性高。	窄带极低带宽，抗干扰与安全性弱，仅能传输语音。	带宽高，但抗干扰弱，基站易损毁，数据传输安全性较低。	带宽高但覆盖近，抗干扰弱，AP易损，安全防护能力不足。

总结：AnyMesh自组网凭借无基础设施依赖、高移动性支持、高抗毁自愈能力，成为应急救援、野外作业、复杂战场等关键场景下的最佳通信解决方案。

场景应用实例



无人机巡检

搭载AnyMESH自组网模块，无人机可在数十公里外实时回传高清视频和设备数据，广泛应用于电力线路、石油管道的日常巡检，保障基础设施安全稳定运行。



应急救援

在地震、洪水等灾害现场，搭载 AnyMESH 自组网模块的机器人或无人机可深入危险、复杂区域，快速建立临时通信链路，实时传输现场图像，为指挥决策提供关键依据。



边境巡逻

无人车或无人机集成 AnyMESH 自组网模块，可实现超远距离巡航和稳定数据回传，全天候监控边境动态，有效提升边境安防的响应速度与覆盖范围。



海上作业

配备 AnyMESH 自组网模块的无人船或各类海事监测设备，可在广阔海域进行水文监测、环境探测等任务，在复杂海况下依然保持低延迟、高可靠的稳定通信连接。

携手万蓝，共创未来

北京万蓝拓通信技术有限公司/北京万蓝科技有限公司

010-8484 8775 / 010-8646 8726 转 801

地址1：北京市昌平区北七家镇宏福科技园创新中心A座4027-4055室
地址2： 陕西省未央区锦园国际广场2006-2007室

官网：http://www.anymesh.cn

邮箱：sales@wlantop.com

ANYMESH
万蓝通信

以技术创新为驱动，为您提供卓越的无线通信解决方案