

隧道人车精确定位及无线 自组网融合通信系统 技术方案

北京比特威电讯科技有限公司

2022 年 4 月

目录

1. 第一章 项目概述.....	4 -
1.1 前言.....	4 -
1.2 需求分析和建设目标.....	4 -
1.3 项目范围.....	5 -
1.4 项目收益.....	5 -
2. 第二章 方案设计依据.....	6 -
2.1 无线通讯、定位系统方案设计.....	6 -
2.1.1 无线通讯系统设计依据.....	6 -
2.1.2 人员定位系统设计依据.....	7 -
2.1.3 设计原则.....	8 -
2.1.4 技术说明.....	9 -
3. 第三章 技术方案设计.....	15 -
3.1 系统功能.....	15 -
3.2 规划设计.....	16 -
3.3 网络故障自愈设计说明.....	19 -
3.4 移动车载快速漫游切换方案设计.....	20 -
3.5 人员车辆定位软件平台.....	21 -
3.5.1 平台特性及扩展功能.....	21 -
3.6 产品介绍.....	23 -
3.6.1 ZumLink5886AC.....	23 -
4.	28 -
4.1.1 ZumLink2052CD-LTE 移动车载终端.....	29 -
4.1.2 ZumLink5103-MOB-K1 车载定位终端.....	31 -
4.1.3 KJ1602-K1 标识卡（人员）.....	34 -
4.1.4 ZF-U-102T2 标识卡.....	36 -
5. 同类交通隧道项目应用经典案例.....	38 -

5.1.1	南昌地铁 40 公里长距离隧道人车精确定位及自组网融合通信项目	- 38 -
5.1.2	在建京沈铁路交通隧道人车精确定位及自组网融合通信项目	- 40 -
5.1.3	13 号线机场西延线人车精确定位及自组网融合通信项目	- 44 -
5.1.4	深中海底通道精确定位及自组网融合通信项目	- 49 -
5.1.5	其他交通隧道同类案例	- 51 -

1. 第一章 项目概述

1.1 前言

交通隧道施工环境艰苦恶劣、事故多发、管理复杂，安全生产和施工管理信息化一直是施工单位、各级政府高度重视的问题，隧道施工、运营企业面临很大的管理难题。如何改善目前隧道施工过程落后的管理模式，实现管理的现代化、信息化成为管理者研究的重要课题。需要一种能够高效、准确的人员安全管理系统及高效的信息传输手段。

随着工业物联网与人工智能技术在管隧领域的不断应用,在地下空间内，复杂环境的远距离通信、人员与设备的位置信息已经成为十分重要的基础信息。基于 Wi-Fi、3G/4G、RFID 及 ZigBee 等传统技术的通讯能力及定位系统精度低、误差大（>10m，甚至数十米），主要以区域定位为主，不能实现人员及设备的精准的实时跟踪，给生产工作中的人员管理、生产调度、巡查监管以及灾后救援带来不便。

MESH 自组网通讯系统是一套可实现多跳远距离接入的高性能自组网设备，可以很好的解决隧道狭长场景的通讯问题。隧道施工人员及车辆精确定位系统是实现对是隧道内施工人员和监管，巡检人员的准确位置和运动轨迹实时监测跟踪，特别是对特殊位置和关键设备的巡查是否监管到位的必不可少的支撑系统。

高精度定位管理系统采用最新的超宽带（UWB）精确定位技术，该技术具有时间分辨率高、测距精度高、穿透力强、抗多径能力强等优点,是近年来发展起来的高精度定位的先进技术，通过在隧道区域中安装基站，为人员或车辆佩戴定位终端的形式，实现人员、车辆及物资精准实时定位，平均定位精度达 30 厘米。能够随时掌握人员在隧道中的位置、活动轨迹以及隧道各区域人员分布情况，并可在特殊情况下及时进行应急救援，提高轨道交通施工过程中的生产效率和管理水平，保障人员安全。

1.2 需求分析和建设目标

- 需求分析

交通隧道施工属于特殊施工场景，需要特别规划完整、稳定的监控与通讯系统，达成隧道安全的管理及紧急情况的现场掌握与决策处理。

因此，针对隧道施工过程中的网络通讯、精确定位系统提出以下需求条件：

(1)、建立一套稳定、可靠的 MESH 自组网及精确定位全覆盖接入网络；

(2)、传输网络要设计留有足够的传输带宽，以满足各个区域类型的联网接入、移动车载视频监控和后续增加的其他业务的传输带宽需求；

(3)、覆盖系统在隧道内的每个位置，能保证良好的通讯质量，保证各种业务数据的流畅传输，比如移动视频不卡顿、位置数据无丢失；

(4)、人员定位系统要求定位精度高，轨迹可查询，可追溯，并支持考勤，支持报表数据导出等扩展功能；

(5)、自组网通讯及定位信号覆盖系统需具备大距离覆盖能力，减少节点数量，降低施工成本、降低日后维护难度

(6)、项目所用设备要求满足隧道内应用环境，具有较高的防尘、防潮、防腐蚀、封装防护等级，采用全不锈钢外壳，具备较高的工作稳定性；

(7)、无线覆盖、传输、定位系统实施安装简单，集成化高，最大程度降低施工、维护成本。

● 项目建设目标

通过对本项目无线覆盖传输定位系统、视频监控系统建设实施，提高轨道交通施工管理的信息化水平，在借助信息化方式强化现场施工安全的同时，提高轨道交通项目的生产效率，提高决策层对现场的把控和决策。

1.3 项目范围

川藏高铁 xx 断 78 公里分为 12 个洞口挖掘隧道，其中最长的为 8000 米左右。本项目是结合施工现场现状和业务接入要求，建立一个组网灵活、支持多业务扩展的 WiFi-MESH 无线自组网通信系统、精确定位系统，整体系统详细内容包括前端各功能硬件终端的实施部署、融合基站、天馈系统的架设、供电接入和 UPS 后备电源的实施。

1.4 项目收益

本项目能够带来的优势与收益概括如下：

1、本项目建设完成后，可以以最少的系统操作人员、系统维护人员、最高效的时间利用提供尽可能多的信息化、自动化服务；

2、无线网络通讯系统采用一址一站的理念，即每个覆盖节点只安装1套基站；

3、将现场的人防提升为人防、物防、技防相结合，提高安全生产信息化水平，最

大程度降低生产事故、灾害事故的发生；

4、施工隧道内无线网络通讯系统能大大提高生产过程中各级人员之间的沟通效率，对加快生产、缩减工期和提高工程质量有很大帮助

5、通过提高生产信息化水平，可以通过实时的信息、视频资料，和各岗位负责人、生产工作人员多维度交互，通过合理的判断决策，充分调动信息系统中各岗位人员的积极性，促使他们提高工作效率，从而提高劳动生产率。

2. 第二章 方案设计依据

2.1 无线通讯、定位系统方案设计

2.1.1 无线通讯系统设计依据

(1) . 建设高可靠性的无线覆盖、传输网络是基础

由于地理环境条件严苛、射频多径干扰复杂，无线通讯网络上负担的业务类型比较多。建立稳定的无线覆盖、传输网络至关重要，要求整体无线网络支持较高的带宽通道、高抗干扰能力、高稳定可靠。对于隧道内没有光纤有线节点接入的覆盖点，设计规划更加稳定的 MESH 多跳自组网网络架构，进一步保证整体无线网络系统的不间断运转。

(2) . 真正实现无盲区覆盖

由于隧道内无任何运营商信号，且无线传输、WiFi 覆盖信号衰减大，通过规划密度较为适宜的融合基站来实现覆盖区域的合理交叉，配合基站的自主可调高功率、高灵敏度、波束赋形算法，能有效的解决覆盖盲区问题。

(3) . 建立稳定的上行链路

融合基站支持独特的 FREE-A 算法，能增强无线接入终端的上传能力，建立更稳定、更快速的上传通道，保证每一个移动终端得到更高的链路连接质量。

(4) . 小数据报文优先、高速传输

融合基站支持 QoS 策略中的小 Byte 流高效、优先传输机制，这是衡量无线传输效率和稳定性的关键因素，更适合交通隧道、矿区、油田这种数据采集、控制信号传输的稳定性需要，配合独有的帧重组算法，可以使无线终端在存在干扰的环境中也能保证低延迟、不丢包的稳定数据传输。

(5) . 高速移动漫游切换

基站内置独特的漫游切换控制并配合中心管理系统，确保移动终端、车载移动视频在基站之间切换平滑过渡，实现了移动终端高速移动切换，保证数据的不间断性、实时性。

(6) . 覆盖系统具备更强的抗干扰能力

考虑到现实环境存在的更多场内和场外的临频、同频干扰源，系统高接收灵敏度的射频设计配合噪声免疫机制，使无线覆盖系统具备更强的抗干扰能力。

(7) . 隧道内环境的影响

天馈系统中，外接天线采用行业专业天线，射频防水采用 3M 原厂室外基站专用防水套装；工业级主机及天线均为 IP68 高可靠性的防水、防尘等级，金属封塑壳体满足室外抗腐蚀的特性。

(8) . 多业务网络划分

所有无线基站设备可采用多业务 VLAN 划分，不同的业务通过制定的无线网络和 VLAN 传输，业务传输之间互不干扰，数据到达机房之后再做业务互通，做到数据整合，统一管理，相互协调。

上述几点内容是目前生产施工信息化管理的先进技术保障，也是现行信息化生产建设的比较先进的重要手段。管理部门可以充分利用建立的信息化手段，将轨道交通生产管理提升到新台阶；可以为作业人员提供更加智慧化、人性化的环境。

2.1.2 人员定位系统设计依据

(1) . 实现直观的、实时的隧道现场施工画面数字化管理。

(2) . 实现隧道作业人员的有效识别，实现施工人员分布的可视化，并使系统管理充分人性化、信息化和高度自动化。

(3) . 为管理人员提供隧道考勤作业、人员进出限制等多方面的信息查询。

(4) . 一旦发生安全事故，通过该系统立刻可以查看隧道工作人员及车辆的数量、位置，保证抢险救灾和安全救护工作的高效运作。

(5) . 系统设计的安全性、可扩容性、易维护性和易操作性。

(6) . 标准化：监控系统可以实现数据在网络上的传输和共享。本系统采用的产品均遵循标准协议和传输标准的要求。

(7) . 稳定可靠性原则：系统的稳定、可靠性是系统的重要指标，直接影响系统的各项功能的发挥和系统寿命。因此从系统设计到设备选型，都应遵守这一原则。我们

的方案在充分考虑用户实际情况的基础上，所有系统中的硬件设备均经过严格测试使用，减少了环境因素造成故障的可能性。设备选用国际知名品牌，技术采用国标领先、稳定的新技术。比如无线设备我们选用 IEEE802.11 标准的无线设备，实践证明，它抗干扰性、传输稳定性要明显优于其它无线传输设备，有力的保障了这一点。

(8). 易用性和先进性结合原则：充分利用当代先进的技术和手段，建成一套先进实用的监控系统，是我们这次设计的根本目的。软件使用界面良好，用户安装相应软件后就可进行实现监控，实现智能控制，不用单独设置。因此，从用户角度出发，特别注重系统的易用、方便和直观，强调系统的综合能力和总体性能。

2.1.3 设计原则

本建议方案的最终目的是，为用户提供一个安全的、稳定的、高效的、先进的、适用的、经济的无线信息交换、数据采集网络，保证用户在智能化信息管理系统的基础上健康、高速、有效、稳步地向前发展。

根据用户的具体情况，在网络设计中应遵循下列原则：

● 可靠性原则

网络系统的设计必须贯彻可靠性原则，使网络系统具有很高的稳定性，可靠性原则体现在以下方面：

(1). 选用技术先进、成熟、高可靠性的无线网络、视频监控设备；

(2). 无线网络通讯系统带宽、信号场强储备高；

(3). 设备的工业稳定性和 7*24 小时不间断工作性能高；

(4). 支持多种抗干扰机制；

(5). 系统提供的技术设备要保证能在不同环境下，全天候 24 小时连续工作，运行稳定可靠。系统电源要适应货场灰尘大、环境恶劣的特点，确保系统设备安全正常运行。

● 兼容性原则

1. 系统应采用模块化结构，兼容性强、扩展性好、安装方便、维护简单；

2. 系统要按照统一的标准和格式进行数据集成；

3. 系统所用设备的技术标准应满足信息化建设的整体规划，避免重复建设；

● 经济性原则

系统配置具有较高的性能价格比，在满足功能要求的前提下，应考虑经济性，以减轻用户负担，并充分考虑系统的施工、运行、维护成本。

● 安全性原则

系统应具有较高的抗干扰、防止非法闯入能力，具有自我诊断、及时报警及错误恢复机制，软件及网络应具有加密功能，保障系统安全。

● 先进性原则

系统配置及集成应具有合理的先进性。

● 可扩展性原则

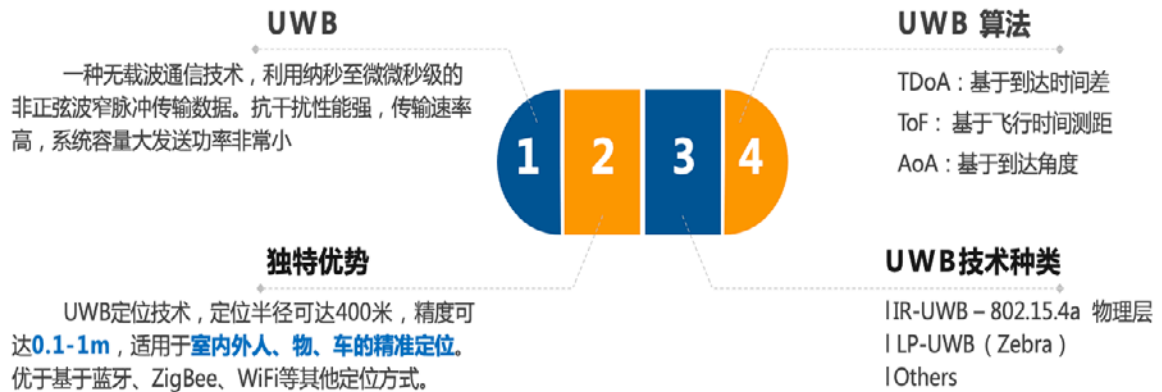
系统的软、硬件设计应充分考虑后期对功能业务及移动终端数量、类型、应用现状及将来的发展趋势，保证系统设备不重复建设。

● 易维护性原则

系统所使用的产品硬件及软件尽可能集成化、集约化，易于安装、便于维护、技术交接简单，降低整体运维难度。

2.1.4 技术说明

一、 UWB 精确定位系统技术概述



UWB 为一种无载波通信技术，利用纳秒至微微秒级的非正弦波窄脉冲传输数据。抗干扰性能强，传输速率高，系统容量大发送功率非常小，定位精度可达 10cm-1m，适用于室内及室外定位。相较于 WiFi、蓝牙、ZigBee 等定位技术，拥有独特优势。

二、 MESH 自组网技术概述

MESH 自组网是基于点对点、点对多点及 MESH 网络架构进行技术改良，做到 MESH 组网多跳损耗低的特点，自组网网络集成了高带宽视频数据传输、低带宽控制数据优先传输等主要功能，以低成本、高性能为设计原则，满足不同项目中最无线通讯网络的组建需求，能够在应急通讯、军事演练、野外较远等场景中无顾虑部署无线自组网系统。

产品设计采用 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用) 和 MIMO (Multi-Input & Multi-Output, 单输入多输出) 等关键技术，支持多种带宽分配：1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、20MHz、40MHz、80MHz 等。

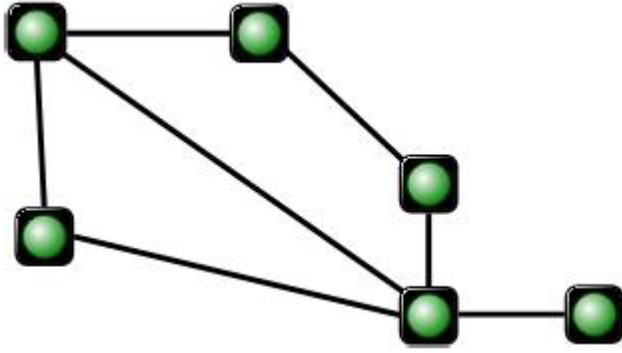
Ad hoc 网络是一种特殊的无线移动网络。Ad hoc 网络中所有节点的地位平等，无需设置任何的中心控制节点。网络中的节点不仅具有普通移动终端所需的功能，而且具有报文转发能力。与普通的移动网络和固定网络相比，它具有无中心、自组织、多跳路由、动态拓扑等特点。它根据组网节点规模的不同，可动态调整网络拓扑形式，比如：点对点，1 点对多点，多点对多点等等。采用扁平化系统架构设计，有效减少系统延时，提高系统传输能力，具备传输距离远、数据吞吐量大、抗干扰性强的特点。

网络需要指定一个逻辑控制节点用于负责全网节点的接入。通常第一个节点开机后，通过扫频选择干净的频点进行布网，该布网节点作为逻辑主控节点。但逻辑主控节点也可以通过用户配置指定。其他节点开机后，通过同步信息找到同步点进行接入。所有的自组网终端模块需要两级身份认证后才允许接入。

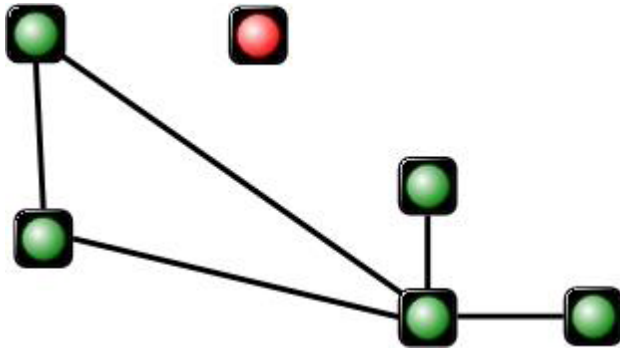
节点接入成功后，用户可以根据实际业务需要来配置频段，发射功率，带宽等参数，在完成以上工作后，就可以进行数据传输。无线自组网支持网络分裂和子网融合。

二、组网方式

MESH 自组网通信系统可作为无中心自组织网络结构，网络拓扑可根据实际情况以及节点之间的实际位置，自动组织。在该网络中，不存在中心节点或单点故障。任意节点的退出或再加入，不会对其他节点的正常通信造成影响。任意单个或多个节点在关闭、受到地形或其他因素影响脱离网络时，其他节点仍能保持正常连接和数据的正常通信。任意脱网节点均可以在影响因素消除后快速恢复网络连接和数据通信，恢复时间小于 3 秒。



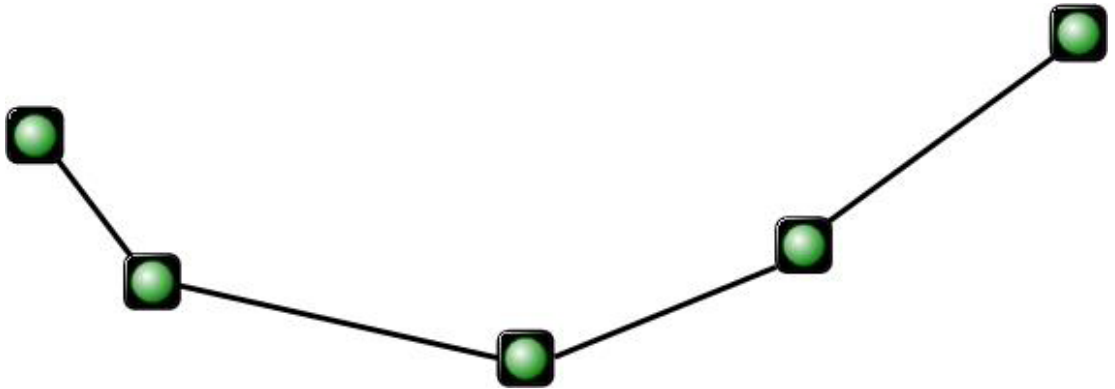
网络内节点正常连接



任意节点脱离网络，其他节点可保持正常连接状态

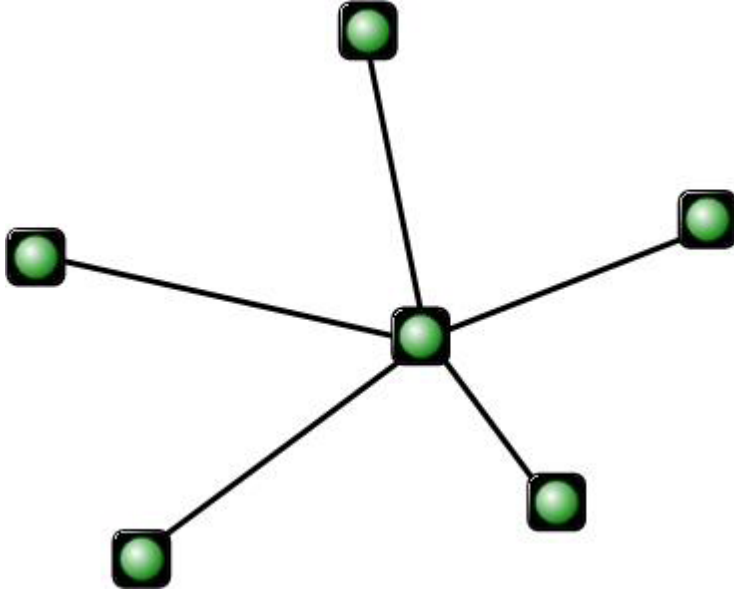
网络内的节点均具备自动多跳接力功能，可实现由 16 个节点组成的链状网络进行 15 跳接力传输，扩展传输距离。任意两个节点之间需要进行的信息传输，在节点之间因距离地形等因素限制的情况下，无法直接传输时，均可通过其他节点进行接力中继传输。并具有路径自由选择、路由自动管理等功能，保证信息通过最短路径进行传输，并根据节点之间的实时连接状态选择是否进行接力中继传输和最优接力中继路径。

本系统可自动实现以下多种网络拓扑类型，满足不同场景的需求。



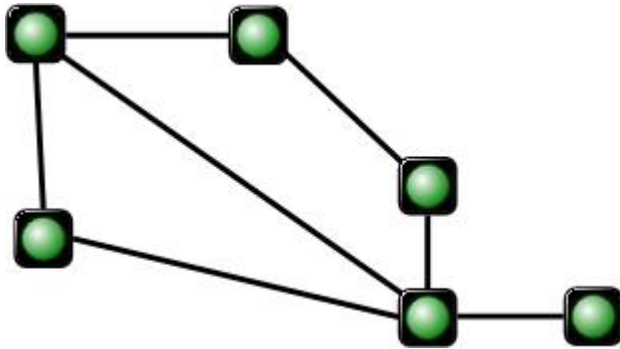
链状网络

链状网络主要用于满足拓展距离或适应复杂地形环境的移动通信需要。可实现链状网络两端的多跳双向通信。适用于移动节点深入复杂地形、楼宇等情况下与后方的实时双向通信，或移动中的节点等链状队列的实时通信。



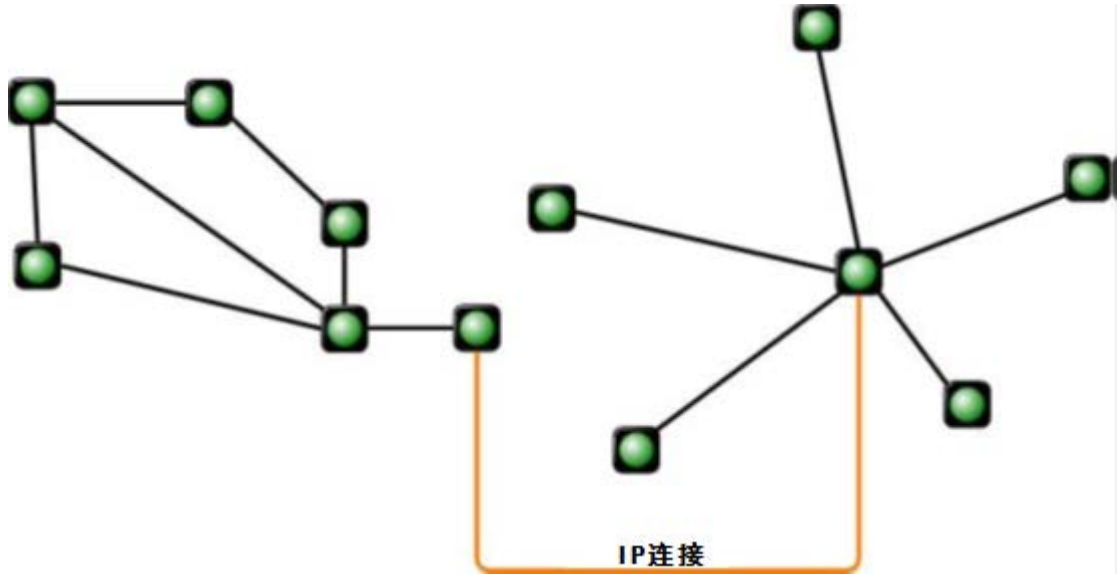
星状网络

节点既可以作为指挥中心节点与所有其他节点保持双向音视频指挥和数据通信，也可以作为其他节点的中继接力节点，为其他节点的通信提供中继接力服务。

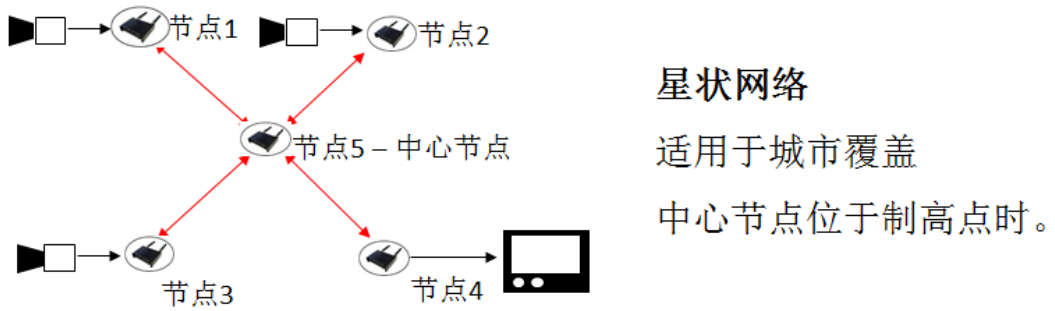
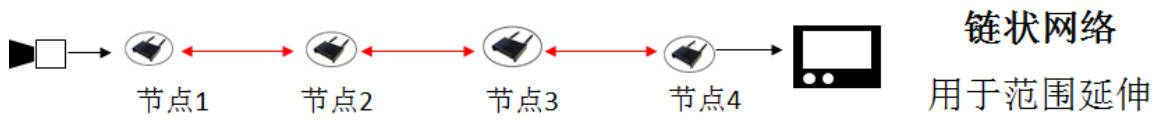


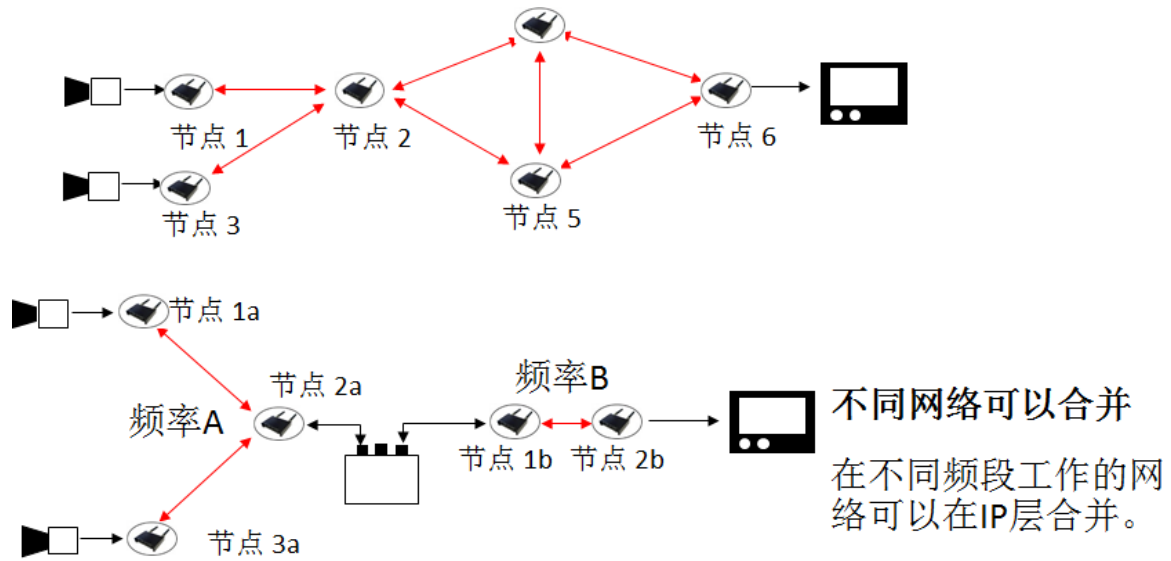
随机网络拓扑

本系统的网络拓扑可实现随机动态实时变化，可实现固定节点和移动节点的混合组网，并保证在节点之间的相对位置随机变化时的正常双向通信以及中继接力自动选择和路径自动选择。



任意多个不同频点的两个无线自组网络之间可通过有线、无线等 IP 连接方式进行互联，实现网络融合和节点数量扩展。





三、技术特性

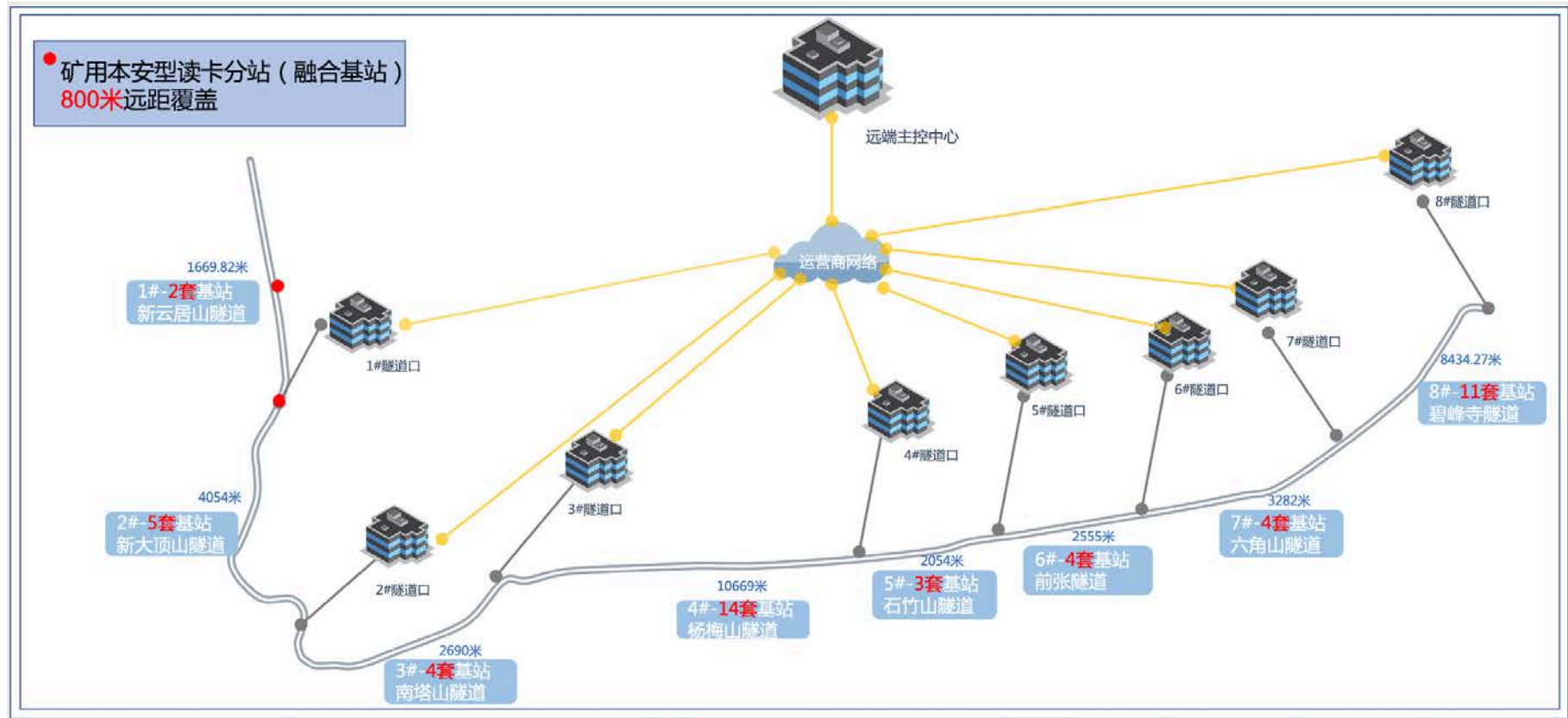
- ◆ 组网简单、快速，不需有线线路布设
- ◆ MESH 自组网可在隧道场景下实现 2Km 远距传输，迄今为止该指标在国内处于最领先
- ◆ 精确定位可在隧道场景下与人员终端集车载终端实现 800 米远距离接入，是市场上普通定位基站的 4 倍
- ◆ MESH 自组网最高带宽可达 500Mbps，保证了多跳之后的主干净带宽；
- ◆ 单 Radio 发射功率支持 1000mw，可随着终端距离智能调节发射功率。
- ◆ 覆盖系统支持 802.11k/v/r 协议，可实现快速移动漫游切换；
- ◆ 方案产品采用融合基站一址一站设计，降低施工安装、后期维护成本；
- ◆ 小数据包优先策略，可保证业务数据的稳定传输；
- ◆ 更加智能的背景扫描、功率控制机制，提高网络的抗干扰性、健壮性。
- ◆ 故障快速自愈，系统收敛时间小于 30 秒。
- ◆ MESH 网络采用更安全的路由协议，防止主动、被动攻击。
- ◆ 工业级 IP67 防护等级，-50~+85℃工作温度，适应于各种室内外恶劣环境。

3. 第三章 技术方案设计

3.1 系统功能

- 实现隧道内无线网络全覆盖，实现视频，IP 语音定位数据回传；
- 网络可以跟随隧道的掘进进行覆盖；
- 实现人员和车辆的精准定位；
- 实现手持或固定式 IP 电话语音系统的运作；
- 单设备隧道内最远覆盖距离可达 2 公里，最多可达 20 跳可用；
- 针对无线设备及终端实现网络管理监控功能，能够实时检查设备状态，故障点位置。

3.2 规划设计





规划说明：

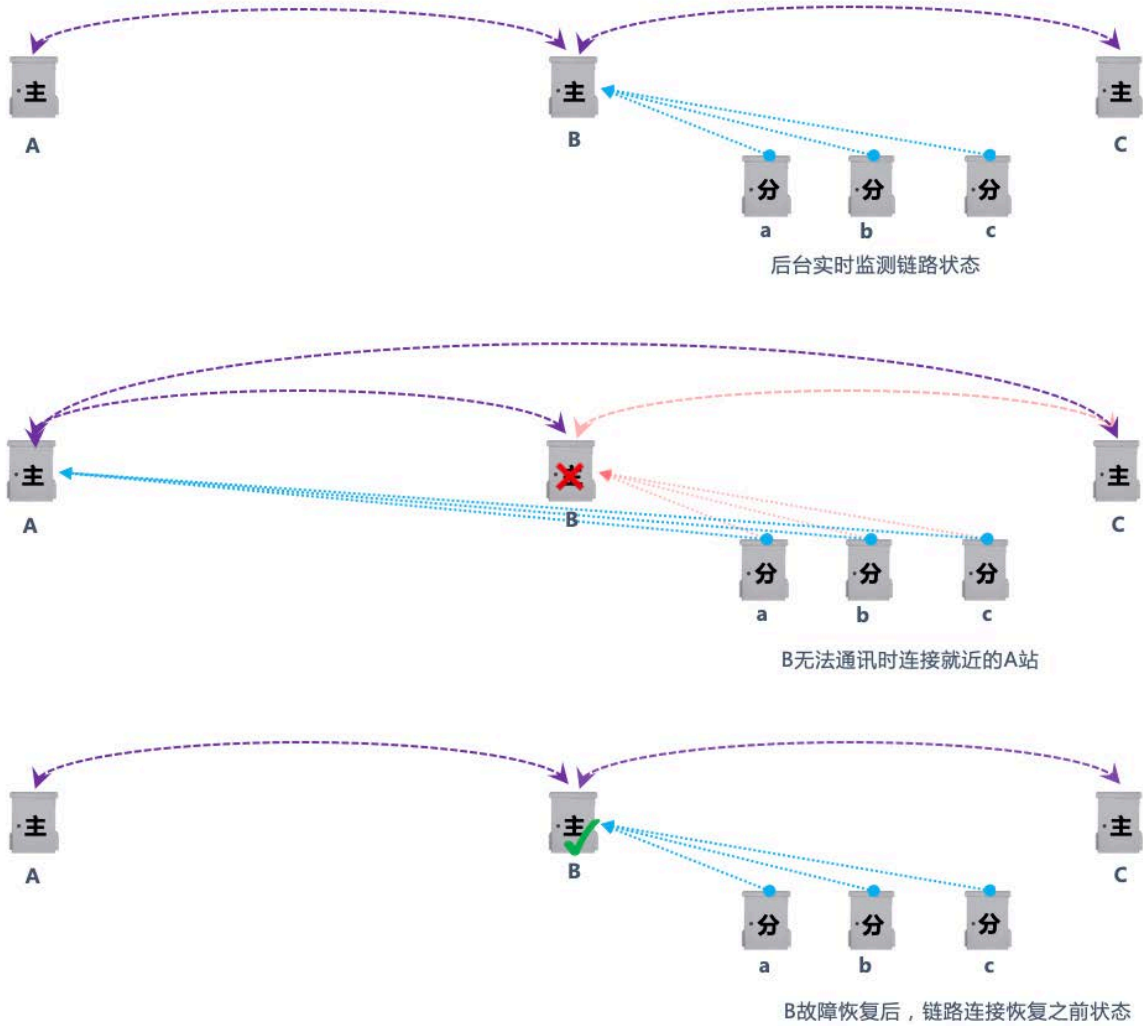
如图所示，全线 78 公里需要挖掘 12 条隧道，于 12 个隧道口共设计规划 12 个自组网系统落地点，每个落地点通过 4G 公网（或光纤或无线）将数据上传到远端主控中心，主控中心可以对每个区间段内的视频、定位等数据跨公网调取查看。

无线网络设计，洞口可以采用光纤或者无线 MESH 桥接的方式连接到项目部管理中心，洞口基站向隧道内发射 MESH 桥接信号，同时发射 WIFI 覆盖信号；每隔 500 米放置 MESH 传输基站 2 台，一个向左一个向右，两个设备用网线进行连接，或者使用工业交换机连接。掌子面处的 MESH 基站可以随着施工进度进行不短移动。

定位设计，为每个隧道口部署一套矿用本安型读卡分站，其他安装节点每隔 500 米部署一套，该分站同时融合了自组网通讯模组*2、UWB 精确定位模组*2，真正实现一址一站的极速部署。

隧道内所有分站之间通过 5G 无线自组网进行菊花链互联，可实现由 16 个节点组成的链状网络进行 20 跳接力传输；通过 3.7G 精确定位射频模组实现施工人员及车辆的精确定位，可实现 500 米的远距离定位，是普通定位设备的 4 倍以上。

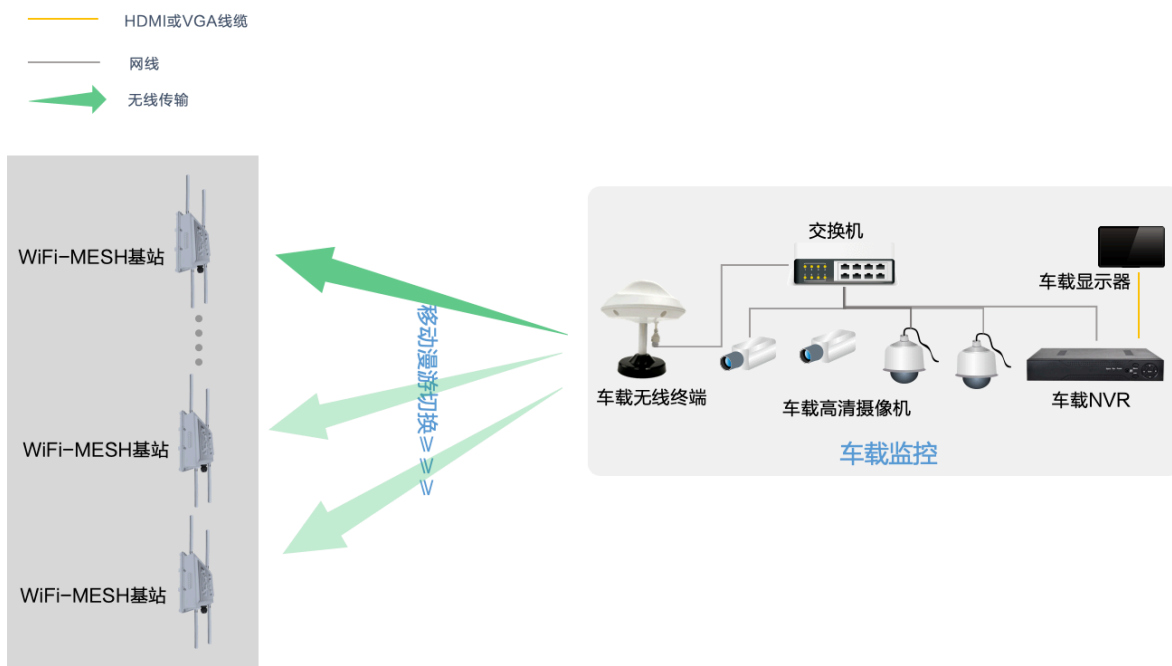
3.3 网络故障自愈设计说明



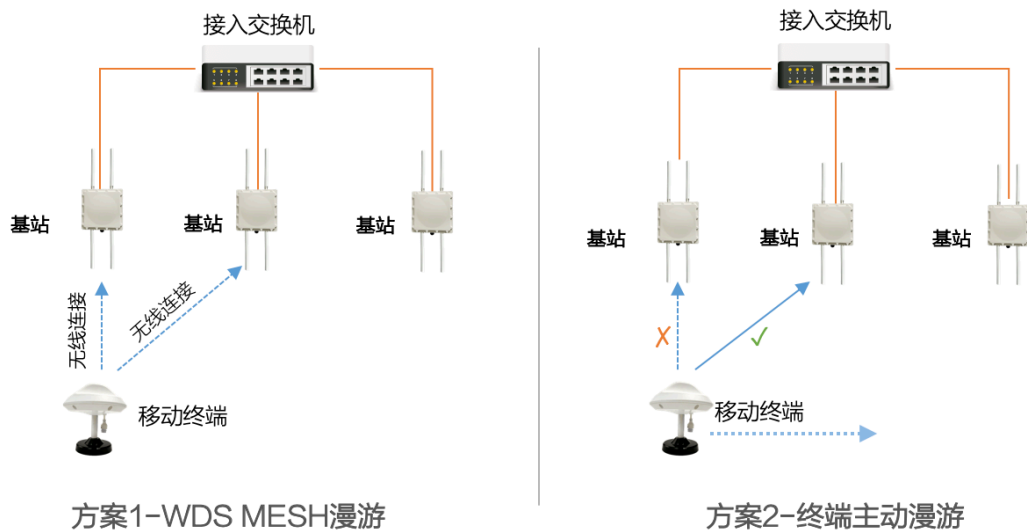
设计说明：

如上图，各个分站到主站间可以通过后台监测方式监测所连接的主站是否工作正常，并在故障出现和恢复过程中做链路切换，主站中间则通过 MESH 路由算法进行链路自愈选择，为整个网络通讯系统提供快速自愈保障。

3.4 移动车载快速漫游切换方案设计



在车载高清监控系统（摄像机+硬录+显示+交换机）基础上增加一台智能车载无线终端，车载无线终端支持主动漫游机制，在多个基站间高速切换时，不会产生丢包，能保证视频的完全实时、流畅传输，下图为漫游切换原理说明：



移动终端实时与就近的两个或多个中心发射Ap保持连接，数据在移动过程中不中断。

移动终端在移动过程中，会进行背景扫描，随着所连接的AP信号逐渐减弱，扫描频率加快，遇到下一信号较强AP时，会连接强信号AP，断开弱信号AP，数据传输不中断。

本方案采用高可靠性的 MESH 自组网通信技术，MESH 网络是面向基于 IP 接入的新型无线移动通信技术，适合于长距离复杂空间环境覆盖和高带宽固定点及移动点无线接

入。

本方案通信系统为无中心、自组织、自愈型高可靠性无线通信网，由于网内不存在中心节点或关键节点，因此任意节点的接入和退出对其他节点的正常通信不会造成影响。

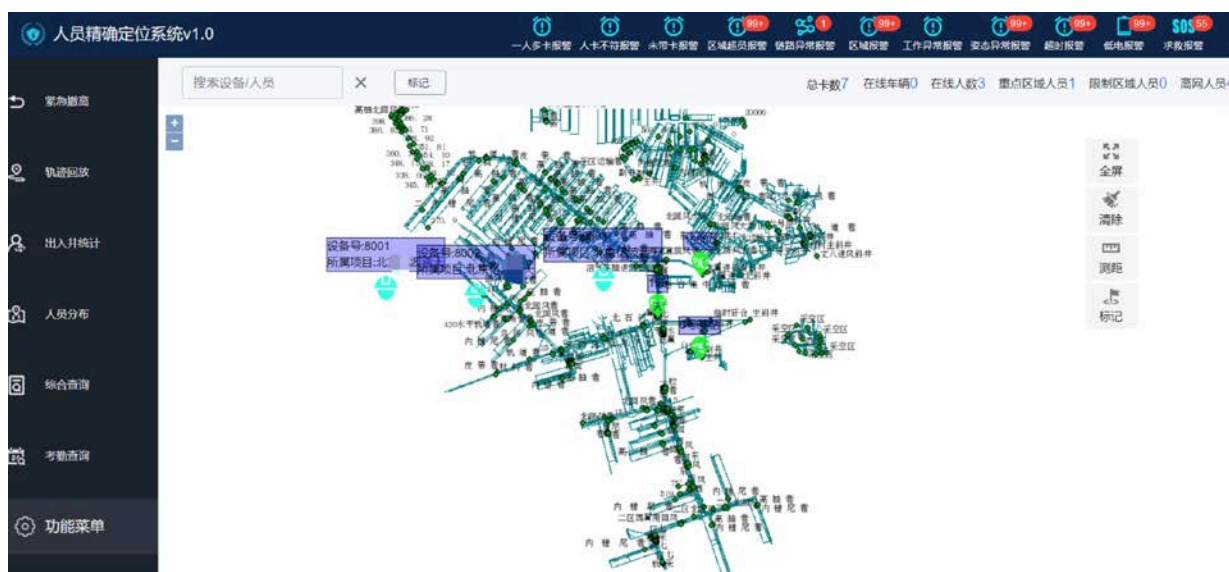
该网络为 IP 无线局域专网，每个节点都可以为用户提供有线 IP 接口、无线 WIFI 接口，用于用户的视频、音频和数据等多种应用信息的接入和输出，高速的无线吞吐带宽保证更好的实现网络融合和现场音视频数据向其他网络的传递。

专门定制开发的机车移动终端为强磁吸盘设计，具有快速部署、体积小、重量轻和功耗低等特点。

3.5 人员车辆定位软件平台

系统软件采用 B/S(浏览器/服务器)模式，如系统框图所示。

3.5.1 平台特性及扩展功能



中心平台主要完成三个方面功能：

- 1、查看各个隧道定位情况
- 2、所有隧道的考勤汇总
- 3、所有终端的历史轨迹查询。

精确定位及通信系统在遏制违规作业、事故应急救援、特种作业人员管理、人员长时间驻留报警、隧道内作业人员考勤等方面发挥着重要作用。

系统采用 java 技术开发，基于成熟稳定的 MVC 框架，具备良好的稳定性、扩展性、安全性，灵活地需求变动功能

更好的实现跨平台运行操作，并且开发周期更短，实现功能更为强大，维护成本更低，扩展空间更为广阔

强大应用拓展功能

业务模块扩展兼容原有隧道管理模式，并可定制管理各功能模块

业务规则扩展通过权限开关，能够很方便的控制角色的权限和嵌入系统

安全性

采用了将用户操作权限与用户主题权限双页面单独设置的模式

避免了系统超级管理员对系统数据进行无限制的增、删、改、查的操作

根据角色区分，可定义本系统实时监控人员以及后台操作人员

通过利用系统用户身份认证，控制范围，防止非授权访问，保证系统的安全

任意报表设计，使用简单

集成了报表插件、打印插件，可以有效利用既有系统中的相关数据

根据用户实际需求，进行自定义报表设置，并形成有效打印

可根据用户自定义需求，为用户进行定制打印设计

操作简易便捷

本系统设计之初即是考虑到通过利用先进的网络办公平台，降低劳动强度，提高工作效率。

3.6 产品介绍

3.6.1 ZumLink5886AC

产品概述



ZumLink 5886AC 系列是 BitWave 自主研发的多模组远距离高带宽无线自组网产品，采用 802.11ac/a/b/g/n 传输协议，工作在 2&5GHz 免许可频段的高性能工业级无线 MESH 基站，结合独有的射频优化算法，具有更强的抗干扰能力和 10 年免维护特性，适应于各种恶劣环境。以其专有的 FREE-A 优秀抗干扰技术为基础，结合了先进的多 Radio 扩展，Beamforming(波束赋形)，TDMA, MRC, STBC 等信道编解码技术，专为部队、野外勘探、电力、河道、交通、森林防火、平安城市等需要远距离数据回传、mesh 自组网、大面积 WiFi 接入的各类高要求行业组网设计。

ZumLink 5886AC 系列采用了半分体/分体式基站主机设计，其中一个模组可以内置定向天线，其他模组可根据项目的实际传输距离需求灵活外置定向、扇区、全向天线；2/5GHz 模组搭配智能移动终端（手机/PAD/手持等）实现 300 米半径的覆盖接入。

ZumLink5886AC 系列自组网基站单射频输出功率 1000mW 并支持智能可调，并支持扩频频点，在大范围、分布式多节点组网应用中能够非常好的躲避同频、临频干扰，以利于网络的扩展。

ZumLink 5886AC 系列自组网基站理论传输带宽最高可达 2.6Gbps，具有优异的远距离传输性能，它可以灵活作为点对多点星型接入、点对点的主干无线传输和 MESH 自组网主干节点。

Characteristics---产品特性

- 支持多种工作模式：接入点，客户端，透明桥，WDS，WDS 中继，MESH，Router/4G

Router

- 支持干扰免疫及 DFS 动态频点选择
- 支持 Polling 轮询、TDMA 时分多址
- 支持不限节点数和跳数的 mesh 自组网
- 专有的 FREE-A 独立算法，低延迟、高带宽，保证无线传输系统高稳定、高可靠性
- 支持点对点、或者点对多点、MESH、多跳、环形等多种组网传输方式
- 射频性能：单射频输出功率 1000mW，接收灵敏度为-100dBm
- 智能负载均衡，最大限度地提供无线网络容量

Specifications---规格参数

常规参数	
芯片架构	高通 Athoes
MESH 工作频段	4900~6100MHz&2300~2700MHz
运营商频段 (可选)	2G 类别: Class12 3G 类别: R7 (21Mbps 下行, 5.76Mbps 上行) LTE 类别: 4 (150Mbps 下行, 50Mbps 上行) LTE FDD 频段: 1 (2100MHz) / 2 (1900MHz) / 3 (1800MHz) / 7 (2600MHz) / 8 (900 MHz) / 20 (800MHz) LTE TDD 频段: 38 (2600MHz) / 40 (2300MHz) 2G 频段: 2 (1900MHz) / 3 (1800MHz) / 5 (850MHz) / 8 (900MHz)

隧道人车精确定位及无线自组网融合通信系统技术方案

	3G 频段: 1 (2100MHz) / 2 (1900MHz) / 5 (850MHz) / 8 (900MHz)
协议标准	IEEE 802.11a/b/g/n/ac
调制方式	DSSS,BPSK,QPSK,16QAM,64QAM,256QAM
传输速率	867Mbps (自组网单模组) , 150Mbps (4G)
频宽	5/10/20/40/80MHz
发射功率	1000mW (30dBm 单模组)
接收灵敏度	-100dBm
接入用户数	256 个
覆盖半径(2GHz)	智能终端接入 300 米
传输距离(5GHz)	20 公里 (内置 23dbi 双极化天线) ; 50 公里 (外接高增益定向)
信道速率	802.11a: 6、9、12、18、24、36、48 和 54Mbit/s 802.11n: 6.5 ~ 300Mbit/s 802.11ac: 6.5 ~ 1299Mbit/s 4G/LTE: 150Mbps (下行) , 70Mbps (上行)
射频数及空间流	3:2×2 & 2:2×2 & 1:2×2
天线选择	内置天线: 双极化定向 外接天线: 双极化定向、扇区、全向或单极化全向
组网方式	接入点/透明桥/Client/Repeater/WDS/Router/MESH
模组选择	1×5GHz+1×2GHz (可灵活调整扩展最多三个模组)
算法支持	DRA/TDMA/Active Roaming/干扰免疫/负载均衡/链路绑定
无线加密	WPA/WPA2-PSK/AES256 位动态加密、802.1x、EAP/EAP2-TLS
二层隔离	支持

隧道人车精确定位及无线自组网融合通信系统技术方案

外壳强度	金属壳体 ETSI300-019-1.6
网络接口	1×1000Mbps RJ45 (支持 PoE 输入)
射频接口	N_K
运营商网络	支持 2/3/4G 扩展
LED 指示灯	电源指示灯、以太网口指示灯、5 级信号指示灯
电磁兼容	通过静电放电抗扰度试验及射频电磁场辐射抗扰度试验,且电磁兼容指标符合国家标准 GB/T17626.2 中的要求: 空气放电, 耐受电压可达 15KV
抗冲击性	通过国家权威机构的机械冲击强度、震动及碰撞试验
防护等级	IP68
产品尺寸	268mm×268mm×85mm
安装方式	抱杆安装或壁装
供电方式	DC 6~30V 或 12~24V PoE 或 AC 220V
整机功耗	≤20W
工作温度	-50~+85°C
工作湿度	5%~90% (非凝结)
MTBF	>250000 小时
认证	无线电发射设备核准证、CNAS/CMA 检测报告、IP68 防护等级检测报告、ISO9001 质量管理体系认证
软件参数	
射频分析	支持频点扫描、频率分析、频谱分析
动态频率选择	支持

隧道人车精确定位及无线自组网融合通信系统技术方案

站点接入管理	支持基于信号质量的接入控制、剔除弱信号站点
主动漫游	支持
网络主机扫描	支持多网段扫描
网络主机监测	支持主机上下线监测
后台脚本	支持后台自定义脚本监测、执行
AC 管理	支持 AC 平台接入管理及自 AC 管理
看门狗	支持
SNMP	支持 v1、v2 版本
文件传输	支持 TFTP/FTP
WMM	支持无线多媒体
QoS	支持自定义优先队列
环路检测	支持 STP/RSTP/MSTP 生成树协议
网络协议	IPv4、IPv6 双栈
网络特性	<p>符合 IEEE 802.3ab 标准</p> <p>支持速率和双工模式的自协商，自动 MDI/MDI-X</p> <p>支持根据用户接入的 SSID 划分 VLAN</p> <p>上行以太网口支持 VLAN access/trunk 功能</p> <p>支持 VLAN ID (1-4094)，每射频可设置 128 个 VAP</p> <p>支持 DHCP 客户端/中继/服务器</p> <p>支持防火墙</p>

安全	<p>支持 Open-System 认证方式</p> <p>支持 WEP 认证/加密方式</p> <p>支持 WPA/WPA2-PSK 认证/加密方式</p> <p>支持 WPA/WPA2-802.1X 认证/加密方式</p> <p>支持 WPA-WPA2 混合认证</p> <p>支持 ACL 访问控制列表</p> <p>支持基于管理用户组的权限限制</p> <p>支持 802.1x 认证、MAC 地址认证、Portal 认证等</p>
软件工具	<p>Ping、Telnet、SSH、IP/MAC Telnet 网络扫描、频率/频点扫描、数据包分析等</p>
设备管理	<p>IP/MAC Telnet、SSH、SNMP、WEB</p>
设备维护	<p>账户管理、日志管理、性能管理、资源管理、设备管理（设备关机、设备重启、恢复出厂、配置备份、固件升级）、邮件通知等。</p>
界面语言	<p>支持中英文</p>
可选型号	<p>ZumLink 5886AC</p> <p>ZumLink 5886AC/02</p> <p>ZumLink 5886AC/02AC</p> <p>ZumLink 5886AC/ST-02</p> <p>ZumLink 5886AC/ST-LTE</p> <p>ZumLink 5886AC-LTE</p>

4.

4.1.1 ZumLink2052CD-LTE 移动车载终端

产品概述



ZumLink 2052CD-LTE 是一款高性能 MESH 移动接入车载终端（车载自组网设备），采用 5GHz+LTE 多频多模设计，802.11an/ac 2×2MIMO 标准，5GHz 自组网模组提供 800Mbps 的无线传输速率，4G 模组提供 150Mbps 公网带宽，具备优秀的射频性能，输出功率 500mW 智能可调，灵活外置 2X2 MIMO 定向、扇区或全向天线，设备覆盖距离远，带宽高，并进行了多媒体数据链路优化，数据传输更稳定可靠，且安装和配置更为简单，满足各种环境的需要。

ZumLink 2052CD-LTE 专为矿区、隧道、能源等移动无线通讯场景应用设计，可以灵活充当固定点、移动车载、移动 WiFi 覆盖站/接收站、4G 回传点，它具有无线自组网通讯距离远、抗干扰性能强；支持分布式、MESH 自组网模式。

ZumLink 2052CD-LTE 充当车载接收端时，支持主动漫游机制，将在不同基站间的切换时间降低为 50ms 以内，确保数据传输通畅。

ZumLink 2052CD-LTE 采用了防水防尘防紫外线设计，良好的热设计支持-30~70℃的宽温应用环境，适合全天候应用：

工业数据采集（工厂、能源企业、隧道、码头、农业、物流仓储、车辆智能控制）；

产品特点

- 专有的 FREE-A 独立算法，保证了无线传输系统高稳定、高可靠性；
- 支持 802.11an , 300Mbps 协商速率；
- 兼容支持三大运营商 2/3/4G 网络，最高速率 150Mbps；
- 支持 Active-Roaming 主动漫游机制；
- 支持 50ms 以内的高速移动漫游机制；

- 支持帧压缩传输技术和 Polling 轮询机制；
- 支持 Watchdog 看门狗功能；
- 支持干扰免疫和 DFS 动态频点选择；
- 支持 RS232 接口对接工业数据采集设备；
- 支持 WMM 无线多媒体，更适合视频等数据的实时传输；
- 智能负载均衡，最大限度地提供无线网络容量；
- 采用 GUI 界面简化管理，中英文 WEB 管理，同时支持 SSH、TELNET，监管配置灵活方便；
- 智能负载均衡，最大限度地提供无线网络容量；
- 9~30V 直流或 POE 方式供电；
- 工作温度-40~+70℃。

参数规格

参 数 规 格	
项目	描述
工作频段	4900~6100MHz 或 3/4G 全频段 (频段可选)
无线标准	IEEE802.11na 5GHz MIMO OFDM
调制技术	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
发射功率	6-24Mbps 28dBm 36-54Mbps 24dBm MCS0 28dBm MCS7 22dBm
最大发射功率	500mw (27dBm)
接收灵敏度	6Mbps -100dBm 54Mbps -78dBm MCS0-HT20 -93dBm MCS7-HT20 -76dBm MCS0-HT40 -91dBm MCS7-HT40 -73dBm
最大接收灵敏度	-97dBm
重量	0.78Kg
尺寸	180mm×120mm×30mm
设备安装方式	壁挂、桌面式安装

外壳强度	高强度镁铝合金
防护等级	防腐、防雨、防晒（IP21）
以太网口	1 个 10/100/1000Base-Tx
天线类型	外置型
天线接口	默认外置
供电方式	直流：9~30V 或市电 220V
工作温度	-40℃~+70℃
储存温度	-40 ~ 125° C
操作湿度	5 ~ 90%（非冷凝）
整机功耗	≤12W
MTBF	>100000h
安全	<ul style="list-style-type: none"> • 无线安全：WPA/WPA2-AES/PSK、802.1x、EAP/EAP2-LTS / WAPI • 认证：支持 MAC 地址认证、PSK 认证、Portal 等 • 网络防护：支持虚拟 AP(多 SSID)之间的用户隔离

4.1.2 ZumLink5103-MOB-K1 车载定位终端

产品概述



ZumLink 5103-MOB-K1 是基于 3.7G~4.2 频段高性能无线定位车载终端设备，具有部署方便接入距离远的特点，适应于各种恶劣环境。支持 TDoA 和 ToF 两种定位方式，主要用于车辆的精确定位，定位精度可达 10~100cm，定位距离可达 800 米。

ZumLink 5103-MOB-K1 采用防水防尘防紫外线设计，内置双极化全向天线，良好的热设计支持-50 至 80 度的宽温应用环境，适合全天候应用。方便快捷的强磁铁吸盘设计，使安装、维护的复杂度降到最低。

ZumLink 5103-MOB-K1 具有优异的远距离传输性能。

产品特性

- 接入距离 800 米
- 定位精度 30cm
- 定位频率可调 1Hz~10Hz
- 惊叹的射频性能：单模组输出增益 500mW，接收灵敏度为-97dBm
- 内置大容量锂电池，单次充电使用时间高达 1 个月

规格参数

参数规格	
项目	描述
定位精度	30cm
通信协议	支持 802.15.4 协议
工作频段	3.7~4.2GHz
定位频率	1Hz~10Hz 可调
传输距离	≥800 米
防护等级	≥IP66
发射功率	≤10dBm
信号灵敏度	-87dBm
工作温度	支持-25℃~60℃
存储温度	支持-40℃~70℃
大气压力	支持 80KPa~106KPa
防护等级	IP67
电池容量	大容量聚合物锂电池≥1100mAh
续航时间	单次充电使用时间 3 周
充电时长	≤3 小时
工作功耗	低于 0.35mA (0.5Hz)

隧道人车精确定位及无线自组网融合通信系统技术方案

休眠功耗	低于 20uA
供电	DC 5V 1A(内置锂电池)
产品尺寸	ø180mm×210mm
安装方式	强磁吸盘底座固定

4.1.3 KJ1602-K1 标识卡（人员）

产品概述



隧道/矿用版本

进入隧道的工作人员必须随身携带识别卡，遵循“统一发卡、统一装备、统一管理”的原则，将识别卡视为“上岗证”或“隧道准入证”，按准许上岗人员实行“一人一卡”制。当持卡人员经过隧道内基站布置地点时被系统识别，系统将读取该卡号信息。

KJ1602-K1 系列 UWB 定位标签是一款可穿戴式定位标签，支持 TDoA 和 ToF 两种定位方式，主要用于人员的精确定位，定位精度可达 10~100cm，隧道场景定位距离高达 800 米。

UWB 精确定位标识卡采用融合定位技术研发的无线定位定位标签。该卡性能稳定，工作可靠，操作维护简单、信号传输能力强，便于人员携带。定位标签可发送报警信息，可以实现人员身份识别、定位和一键撤离（支持声光、震动报警多维度报警提示），且在发生危险时能够向管理中心发出求救信号。

便携式定位标识卡由隧道一般工作人员佩戴，设计安装在工人的皮带或者安全帽上。识别卡通过和基站的双向通讯，得到人员识别卡的区域定位信息。普通识别卡具有报警功能，在遇到意外情况时，可按下报警按钮报警。

规格参数

参数规格

隧道人车精确定位及无线自组网融合通信系统技术方案

项目	描述
定位精度	30cm
通信协议	支持 802.15.4 协议
工作频段	3.7~4.2GHz
定位频率	1Hz~10Hz 可调
传输距离	≥800 米
防护等级	≥IP66
发射功率	≤10dBm
信号灵敏度	-87dBm
工作温度	支持-25℃~60℃
存储温度	支持-40℃~70℃
大气压力	支持 80KPa~106KPa
电池容量	大容量聚合物锂电池≥1600mAh
续航时间	单次充电使用时间 1 个月
充电时长	≤3 小时
工作功耗	低于 0.35mA (0.5Hz)
休眠功耗	低于 20uA
供电	DC 5V 1A(内置锂电池)
设备尺寸	90mm × 50mm × 40mm
佩戴方式	腰间（串在用户皮带上使用）或安全帽佩戴

4.1.4 ZF-U-102T2 标识卡

产品概述



普通款版本

ZF-U-102T2 系列定位标签是一款集成 UWB 精确定位模块的定位标签，支持 TDoA 和 ToF 两种定位方式，可灵活用于人员及车辆等多场景精确定位，定位精度可达 10~100cm，定位距离可达 500 米。

ZF-U-102T2 系列 UWB 定位标签采用融合定位技术研发的无线定位定位标签。该卡性能稳定，工作可靠，操作维护简单、信号传输能力强，便于人员携带（挂绳佩戴）

规格参数

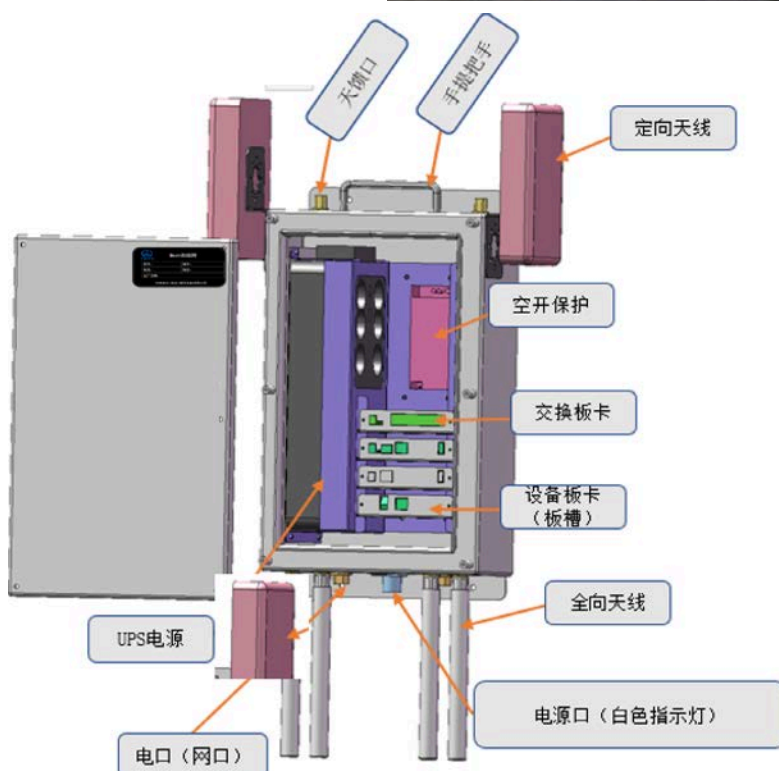
参数规格	
项目	描述
定位精度	30cm
通信协议	支持 802.15.4 协议
工作频段	3.7~4.2GHz
定位频率	1Hz~10Hz 可调
传输距离	≥500 米
防护等级	≥IP66
发射功率	≤10dBm
信号灵敏度	-87dBm
工作温度	支持-25℃~60℃

隧道人车精确定位及无线自组网融合通信系统技术方案

存储温度	支持-40℃~70℃
大气压力	支持 80KPa~106KPa
防护等级	IP66
电池容量	大容量聚合物锂电池 $\geq 1100\text{mAh}$
续航时间	单次充电使用时间 3 周
充电时长	≤ 3 小时
工作功耗	低于 0.35mA (0.5Hz)
休眠功耗	低于 20 μA
供电	DC 5V 1A(内置锂电池)
设备尺寸	70mm \times 50mm \times 6mm
部署方式	3M 胶粘贴车身

5. 同类交通隧道项目应用经典案例

5.1.1 南昌地铁 40 公里长距离隧道人车精确定位及自组网融合通信项目



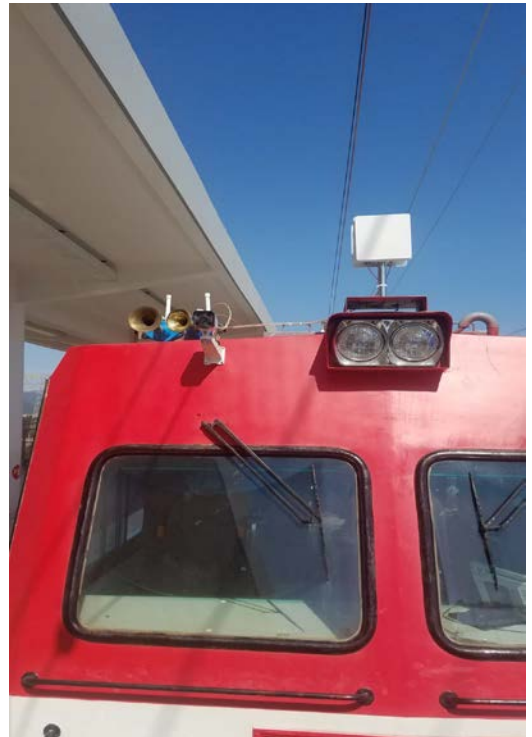
甲方单位名称： 中铁电气化局集团有限公司城铁分公司

项目简介： 南昌市轨道交通 3 号线工程起点为银三角北站，终点为京东大道站，线路全长约 28.4km，全部为地下隧道环境，本项目是结合南昌市轨道交通 3 号线工程施工现场现状和业务接入要求，建立一个组网灵活、支持多业务扩展的 WiFi-MESH 无线通信系统、全覆盖通讯系统、高清视频监控、人员定位、语音调度系统，整体系统详细内容包括前端各功能硬件终端的实施部署、无线基站、天馈系统的架设、固定/移动视频监控设备的布设、防水、防静电系统实施、供电接入和 UPS 后备电源的实施；机房部分包含对以上人员定位、考勤系统、视频监控系统、语音对讲对应的管理软件平台的搭建项目。

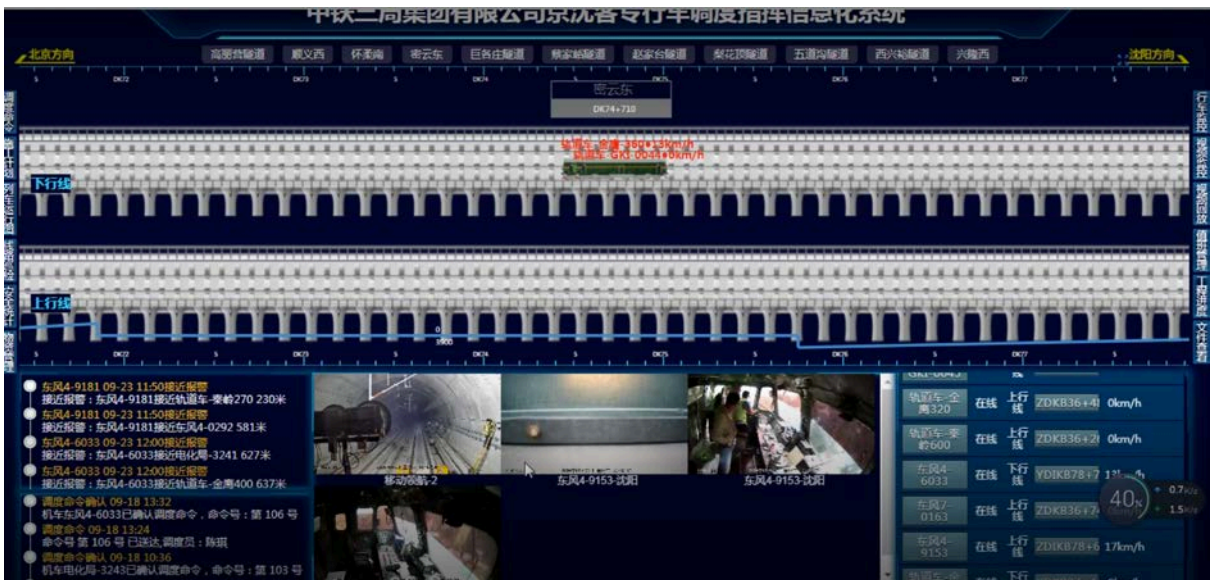
完成效果：

- 1、项目完成了南昌地铁 3 号线 28.4 公里及 15 个车站及 16 个车站的无线网络覆盖，实现了无线自组网、视频监控及人车通讯及定位。
- 2、无线网络通讯系统采用无线 WiFi 覆盖接入和无线主干传输一体化设备设计，最大程度降低施工成本、施工难度、施工周期、后期维护难度；
- 3、将现场的人防提升为人防、物防、技防相结合，提高安全生产信息化水平，最大程度降低生产事故、灾害事故的发生；
- 4、施工隧道内无线网络通讯系统能大大提高生产过程中各级人员之间的沟通效率，对加快生产、缩减工期和提高工程质量有很大帮助。

5.1.2 在建京沈铁路交通隧道人车精确定位及自组网融合通信项目



隧道人车精确定位及无线自组网融合通信系统技术方案





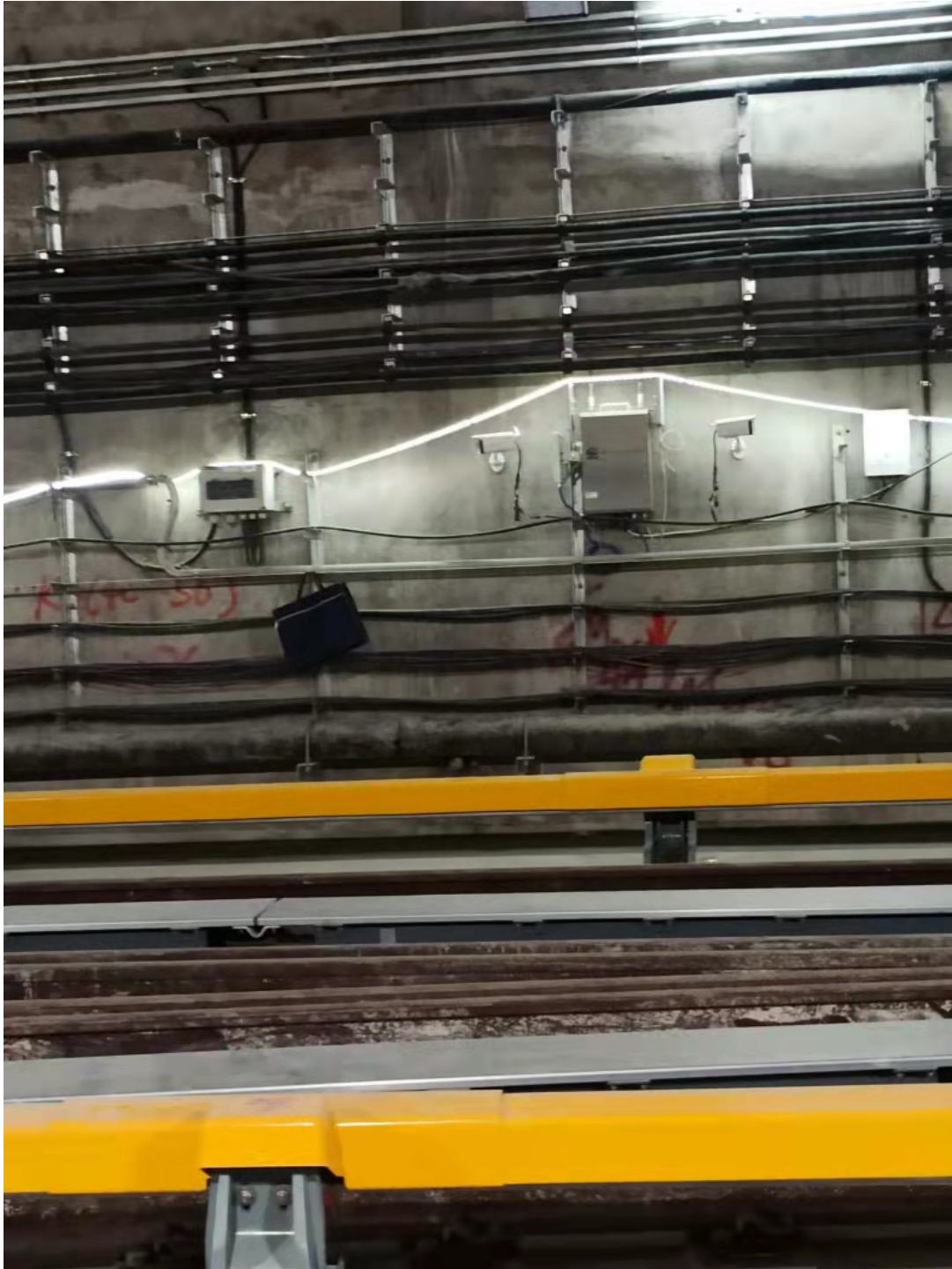
甲方：中铁三局

项目简介：本项目建设范围为京沈高铁北京段（顺义西站、怀柔南站、密云东站、兴隆西站）场景为地下隧道与露天相结合环境，线路覆盖长度为 60 余公里，本项目是结合铺轨施工现场现状和业务接入要求，建立一个组网灵活、支持多业务扩展的 WiFi-MESH 无线通信系统、移动机车视频监控及定位、语音调度系统。

项目完成效果：

- 1、项目完成了京沈线北京段（顺义西站、怀柔南站、密云东站、兴隆西站）之间 60 余公里的无线网络覆盖，实现了无线自组网、移动机车高清视频监控及人车通讯及定位。
- 2、无线网络通讯系统采用无线 WiFi 覆盖接入和无线主干传输一体化设备设计，最大程度降低施工成本、施工难度、施工周期、后期维护难度；
- 3、将现场的人防提升为人防、物防、技防相结合，提高安全生产信息化水平，最大程度降低生产事故、灾害事故的发生；
- 4、施工隧道内无线网络通讯系统能大大提高生产过程中各级人员之间的沟通效率，对加快生产、缩减工期和提高工程质量有很大帮助
- 5、该 WiFi-MESH 无线通信系统具有长距离通信，自愈性高的特点，在国内处于领先地位，京沈铁路无线通信融合系统建设效果曾多次受到各局领导一致好评，该项目建设完成后于 2020 年 6 月份又继续承建了牡佳铁路线在建隧道通信系统、川藏铁路线（重庆段）166 公里在建隧道通信系统。

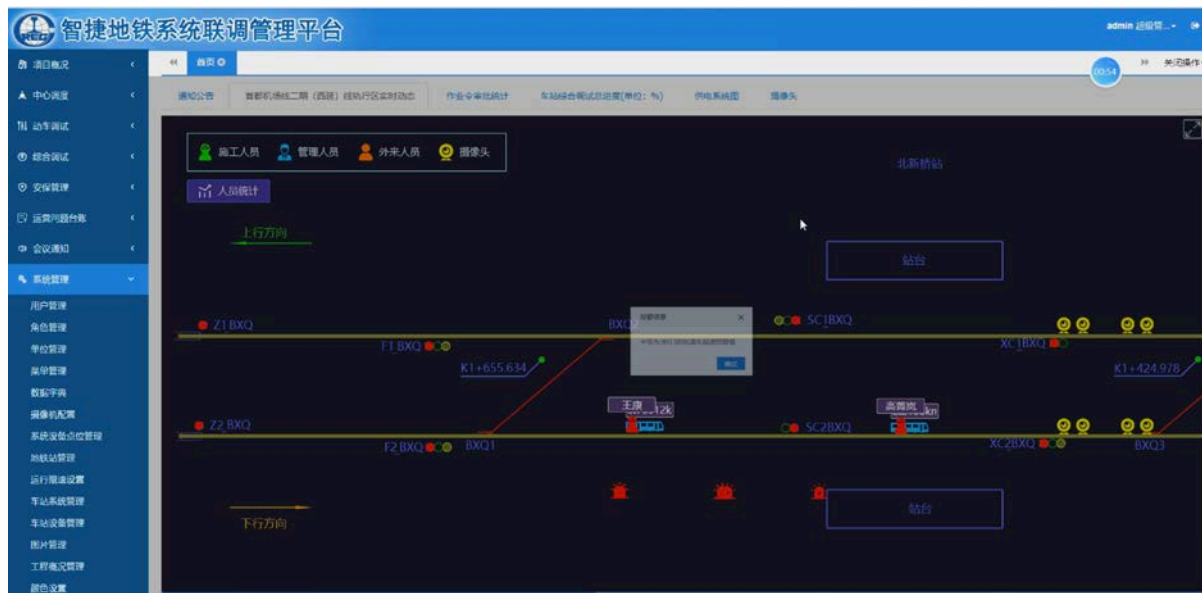
5.1.3 13 号线机场西延线人车精确定位及自组网融合通信项目





隧道人车精确定位及无线自组网融合通信系统技术方案





甲方：中铁电气化局

项目简介：本项目建设范围为北京十三号线北新桥到首都机场线贯通地铁线路，隧道单洞 1.4 公里，现场信息节点间距 400 米，本项目是结合铺轨施工现场现状和业务接入要求，建立一个组网灵活、支持多业务扩展的 WiFi-MESH 无线通信系统、移动机车视频监

控及定位、语音调度系统、考勤系统、工单管理系统。

项目完成效果:

项目顺利完成了地铁隧道初期施工、洞调环节中，对无线多跳自组网+WiFi 覆盖接入系统、人/车高精度定位系统、语音/视频对讲调度系统、项目部事务管理系统等多个子系统的融合和功能实现，为中铁电气化局在地铁施工安全信息化管理系统的推广奠定了确定性基础。

5.1.4 深中海底通道精确定位及自组网融合通信项目



隧道人车精确定位及无线自组网融合通信系统技术方案



项目简介：深中通道，又称“深中大桥”，是广东省境内连接深圳市和中山市的建设中大桥，全长 24 千米，其中有 6.8 千米长的沉管隧道；深中通道设计速度 100 千米/小时。在目前已对岛到船、岛到沉管隧道、隧道内每节海底沉管（南车道、中管廊、北车道）中部署了 MESH 自组网通讯、语音视频对讲和 UWB 定位系统。

在每节海底通道沉管对接过程中，要求精度达到毫米级别，对无线通讯及语言调度系统的要求极高。

项目完成效果：

WiFi-MESH 多跳通讯系统及 WiFi 接入网络、语音/视频通讯调度系统为沉管对接及对接之后的施工过程提供稳定的网络接入和传输服务，为该世界瞩目工程提供了稳定可靠的通讯保障，目前该项目已进入收尾阶段，不断扩展的通讯网络系统仍在服务期。

5.1.5 其他交通隧道同类案例

- 牧佳线施工阶段无线自组网及 WiFi 接入系统
 - 赣深线施工阶段无线自组网及 WiFi 接入系统
 - 高铁川藏线无线自组网通讯及人员定位系统
 - 上海地铁 14、15、18 号线移动机车无线传输系统
 - 京张高铁张家口施工段沿线无线监控及 WiFi 覆盖系统
 - 北京地铁故障巡检应急通讯系统
 - 深圳地铁维护应急通讯系统
 - 浙江柔极岭隧道移动机车无线传输系统
 - 北京地铁 9 号线 1 标段（中铁二局）移动机车无线传输系统
 - 京沪高速济南连接线龙鼎隧道移动机车无线传输系统
 - 京张铁路居庸关隧道移动机车无线传输系统
 - 青岛地铁胶州湾海底隧道移动机车人车精确定位及自组网融合通信项目
 - 南京市铁路局无线调度数据无线传输系统
- 。 。 。 。 。 。