

5G 技术在长江航运智能化中的应用

王鹏¹, 覃琴², 余波¹, 蒋雯¹

(1. 长江宜昌通信管理局, 湖北 宜昌 443000; 2. 三峡大学计算机与信息学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 当前航运智能化发展面临无线带宽通信能力对现代化航运协同管理难、远程控制实时性差、融合大数据智能决策效率低等问题难以支撑, 面向垂直行业智能化应用的 5G 技术为上述问题的解决提供了契机。本文研究了航运智能化应用在信息定位、船岸通信、船舶监控等方面的业务需求, 分析了应用级切片自适应选择、江面传播模型校正、天线倾角自适应寻优、空口带宽自适应寻优 4 个长江航运 5G 专网关键技术解决方案, 提出了基于 5G、大数据、云计算、边缘计算和虚拟现实等技术的船舶高精度定位导航、智能分组高清集群通信、船舶动态全景监控及可视化协同等应用场景。

关键词: 航运智能化; 5G 技术; 网络切片; 传播模型校正; 高精度定位; 高清集群通信; 动态监控

中图分类号: U69 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 12—0048—04

长江作为世界运量最大的通航河流, 以其优越的地理位置和水运资源被誉为“黄金水道”, 年货运量连续多年位居世界内河第一。2020 年, 长江航运实现货物年通过量 30.6 亿吨, 同比增幅超过 4.4%, 再创历史新高。

为了推动长江经济带高质量发展, 交通运输部提

出“一条主线四个长江”的发展战略, 围绕“建设长江黄金水道, 发展现代长江航运”这条主线, 打造“数字长江”、“平安长江”、“阳光长江”及“和谐长江”。其中, “数字长江”是长江航运现代化的重要引擎和关键因素, 旨在通过智能化应用系统实现各类航运业务的流程优化、协同配合和辅助决策, 最大限度地优化航运

相应的避碰决策。其次构建了一个简单的仿真平台对避碰算法进行仿真验证, 分别以两船的对遇和交叉情况进行验证, 实现以上两种情况下的仿真, 来验证算法的有效性。仿真结果表明, 基于遗传算法的避碰模型能够将最优良的基因保留下来从而进化出更加强健、更适合生存的基因, 从而得到最优的避碰航线完成船舶避碰。

本文的研究主要构建仿真平台进行仿真分析以验证算法的可行性, 下一步将结合实际 AIS 数据进行实际应用。

参考文献:

- [1] 李晓松, 孔宪卫. 船舶碰撞事故成因及管控措施研究[J]. 水道港口, 2019, 40(3):313-318.
- [2] 李丽娜, 陈聪贵. 船舶自动避碰方法的研究[J]. 中国航海, 1999, 22(1):20-24.
- [3] 郑中义, 吴兆麟. 交叉相遇局面中船舶避碰行动的不确定性[J]. 中国航海, 2000, 23(02):56-61.
- [4] 杨帆, 刘克中. 船舶智能避碰软件开发生的研究[J]. 武汉交通科技大学学报, 2000, 24(5):580-582.

[5] 毕修颖, 贾传炎, 吴兆麟, 等. 船舶避碰行动领域模型的研究[J]. 大连海事大学学报, 2003, 24(01):9-12.

[6] 胥文, 胡江强, 尹建川, 等. 基于模糊理论的船舶复合碰撞危险度计算[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(7):78-84.

[7] 倪生科, 刘正江, 蔡焱, 等. 基于混合遗传算法的船舶避碰路径规划[J]. 上海海事大学学报, 2019, 40(1):21-26.

[8] 崔瑾娟. 基于遗传算法规划路径的船舶避碰系统[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(6A):43-45.

[9] 吉根林. 遗传算法研究综述[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(2): 69-73.

[10] 海司航保部. 1972 年国际海上避碰规则[M]. 人民交通出版社, 1978.

[11] LI S Y, CHEN X Q, CHEN L H, et al. Data Reception Analysis of the AIS on board the TianTuo-3 Satellite[J]. The Journal of Navigation, 2017b, doi:10.1017/S0373463316000916.

基金项目: 湖南省教育厅优秀青年项目(编号 18B572); 湖南省自然科学基金资助项目(编号 2020JJ4451)。

管理、提供公共服务，提升航行安全，提高运输效率。

1 长江航运智能化发展的主要障碍及业务需求

现有长江航运主流无线通信手段为 VHF 窄带通信，不具备宽带数据传输能力；卫星通信主要在应急通信中使用，带宽小、资费高；4G 公网覆盖盲点多，网络安全得不到保障；江面落差和波动等因素对无线宽带通信覆盖影响大，难以支撑航运智能化的数据传输与处理需求，制约了长江航运智能服务水平。

5G 技术三大典型应用场景中，eMBB 场景，能够有效适应船舶动态监控、高清 CCTV、应急视频通信等大带宽的业务需求；urLLC 场景，能够有效满足无人机、无人船、船舶定位与导航等智能设备间高可靠通信需求；mMTC 场景，能够更好地支持智能航道、船舶数据动态感知、船舶航行安全监管等海量传感数据采集需求。

智慧航运系统宽带传输需求如表 1 所示。5G 网络的时延（典型）约为 10ms，上行稳定带宽约为 150Mbps，连接数为 10^6 /km²，网络服务质量最高可达 99.9999%。特别是 5G 网络切片技术、移动边缘计算等能够在满足长江航运对可靠性、连接密度、定位等方面高性能要求的同时，突破长江航运智能化瓶颈，提供一种公网、专网共建共享，充分利用频谱资源和满足投资需求的核心技术支撑新思路。

表 1 智慧航运系统应用对网络的需求

业务系统	带宽	时延	可靠性	连接密度
海事电子巡航	10Mbps	<200ms	99.9%	3-5 高清摄像头 / 船 10-15/Km ²
海事监管与应急指挥	4-10Mbps	<200ms	99.9%	
航道整治与监管	4-10Mbps	<200ms	99.9%	5-10/Km ²
船舶电子签证与报港	2-8Mbps	秒级	99.9%	5-10/Km ²
船舶过闸调度	2-8Mbps	分钟级	99.9%	5-10/Km ²
船舶定位与导航	2Mbps	秒级	99.9%	3-5/Km ²
船舶自动驾驶	50-80Mbps	<15ms	99.999%	5-8 高清摄像头 / 船
船舶设备状态监控	2-8Mbps	秒级	99.9%	5-10/Km ²
船舶物流信息查询	2Mbps	秒级	99.9%	100-1000/Km ²
船载办公	10-20Mbps	< 200ms	99.9%	5-10/Km ²
VR+AR 应用	50M-5Gbps	<50ms	99.9%	5-10/Km ²

2 长江航运 5G 专网关键技术解决方案

长江航道全流域的 4G 网络覆盖基本都是公网投资和建设，对于航道连续覆盖、水位落差影响、水面干扰调效等许多长江航运网络覆盖的行业特殊问题没有进行深入的研究和探索。要实现 5G 在长江航运智能化中的应用，必须满足长江航运的需要，重点解决应用级切片自适应选择、江面传播模型校正、天线下倾角自适应寻

优、空口带宽自适应寻优 4 个关键问题。

2.1 应用级切片自适应选择

为实现公网专网结合、共建共享，网络切片为基于公网的长江 5G 专网服务提供了可能，能够为不同垂直行业提供差异化、相互隔离、功能和容量可定制的网络服务，其功能场景和设计方案可独立裁剪^[1]。同时，网络切片能够保证业务的端到端服务等级协议（SLA），性能具备保障性。

FlexE 技术基于物理层的转发，并提供严格的管道隔离，带宽分配灵活^[2]。FlexE 基于 Client/Group 架构，可支持任意多个不同子接口速率在任意一组 PHY 上映射和传输。

UE 路由选择策略（URSP），在网络侧控制不同业务流激活到不同的网络切片，最终实现业务分流。通过梳理不同航运应用场景的个性化需求，根据需求对网络资源进行逻辑分割，实现应用级自适应切片选择，空口切片精准识别，2C2B 访问及 APP 级精细化业务，保障公网专网切换。如图 1 所示。

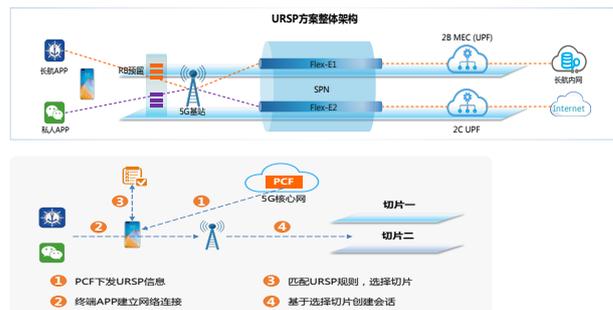


图 1 自适应选择应用级切片

2.2 江面传播模型校正

传统无线传播模型 Okumura-Hata 和 COST231-Hata 模型主要应用在 2 GHz 以下低频段，而 5G 通信系统主要采用 6 GHz 以下中低频段和 24 GHz 以上高频段组网^[3]，其部署方式也有别于传统室外宏站和室内分布系统方式，主要使用室外宏微站以及室内微微站相结合的方式^[4]。因此传统无线传播模型，从频率选择和部署方式上都难以适用于 5G 通信系统基站的覆盖预测。

3GPP TR 38.901 基于多个场景定义了适用于 5G NR 0.5 ~ 100 GHz 的传播模型，包含 Uma、UMi、RMa 和 InH 等四类场景^[5]。Uma 模型适用于建筑物分布比较密集的区域。该类场景基站天线挂高高于周围建筑物楼顶高度（如 25 ~ 30 m），用户在地平面高度（约 1.5 m），站间距不超过 500 m。

考虑到江面通常开阔无遮挡，天气变化大，穿透损耗小，反射系数高，干扰严重，且江面雾日较多，影响信号传播，因此需要基于长江航道场景进行传播模型校正，使用 2.6GHz 频段及修正系数的 Uma 传播模型来准确仿真水域覆盖。如图 2 所示。



图 2 江面传播模型校正

2.3 天线下倾角自适应寻优

大规模天线阵列将数十上百个天线和芯片集成到一块“平板”上，5G 的高频信号可以稳定、安全地发送到用户终端，带来更高的天线阵列增益，大幅提升系统容量；能够将波束控制在很窄的范围内，带来高波速增益，有效补偿高频段传输的大路损。M-MIMO 解决方案采用 64TRxAAU 保障航道场景广覆盖 / 大容量，5G BBU 能满足未来扩容演进需求，最大支持 UL + DL = 50Gbps 回传带宽。

图 3 显示芜湖、汉口、三峡三地洪水与枯水期水位高度及江面宽度变化。为满足长江水位涨落的特点，根据江水高度和江宽差的高低，M-MIMO 可从垂直维度和水平维度对天线下倾角自适应寻优。

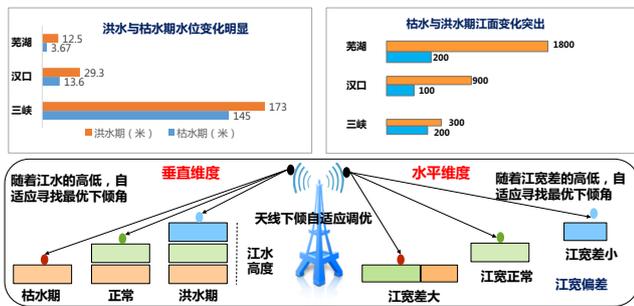


图 3 天线下倾角自适应寻优

2.4 空口带宽自适应寻优

5G Sub-6G 新空口设计能有效满足广覆盖、局部热点、大连接及高速等场景下体验速率、时延、连接数以及能效等指标要求。实现按需自适应统一、灵活、可配置，满足 5G 典型场景差异化的性能需求。当长江航道

出现险情或特殊保障时段，为满足特殊时段峰值业务量的通信需求，5G 空口带宽，可基于业务 / 带宽需求不断进行迭代，并自适应寻优。建网初期业务量少，空口带宽可配置 40MHz，中期业务量增加，或船舶遇险等特殊时段，空口带宽可配置 60MHz、80MHz，以满足长江航运的行业特殊应急需求。

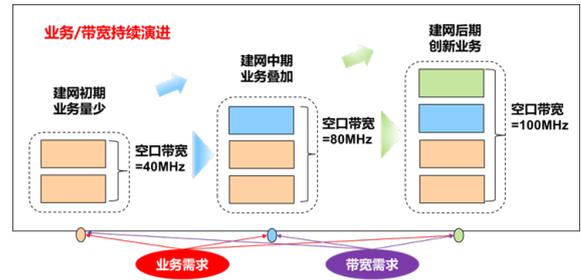


图 4 空口带宽自适应寻优

3 5G 在长江航运中的应用场景

为验证 5G 技术在长江航运安全监管和保障船舶航行安全中的应用前景，2020 年 10 月，长江宜昌通信管理局联合华为公司、湖北移动等多家单位在宜昌临江坪锚地水域开展了 5G+ 北斗应用试点，通过搭建 5G 专网切片网络平台，建设 5G 应用系统生态，探索实现“陆海空天”一体化安全监管新模式。该项目于 2021 年 3 月 30 日被工业和信息化部纳入移动物联网应用优秀案例。

3.1 5G+ 北斗实现船舶高精度定位

目前船载 AIS 终端基于 VHF 频率，通过时分多址技术自动周期性广播和接收船只信息，传输速率仅为 9600bit/s；岸基 AIS 基站中，收发站接收船只四类信息并广播北斗差分信息，接收站仅接收船只信息。AIS 位置数据间隔不定，单点定位不能满足船舶在复杂航段航行、进出狭窄航道或靠离泊时的应用需求；船舶定位实时性受限网络数传能力，静态信息和航次相关信息更新间隔 6 分钟，动态信息 3 分钟，船舶高精度位置数据应用和开发利用深度不足，难以满足航运信息服务的需求。

采用 5G+ 北斗组合，可对现有 AIS 业务进行升级，通过 5G 无线宽带回传网络，打通长航专网 2B UPF 到北斗地基增强服务器的链路以及 2B UPF 到船舶定位服务的链路。船载 5G 终端通过 5G 网络接收从北斗地基增强服务器发送的北斗差分信息，实现船舶亚米级定位。如图 5 所示。

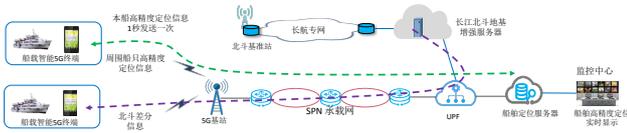


图5 船舶高精度定位

3.2 智能分组高清集群通信

目前长江船舶需配备两个船用VHF船台机,用于联播收听、遇险求助、船舶调度及船只会让等相关工作,切换复杂,且水上无线电信号干扰较大。

基于海事5G专网,北斗融合终端和PDA上的海事因公APP,可针对图6中三个应用场景,按需扩展并实现高清集群通信。船对船场景,支持任意两条船在海事专网内进行语音和视频通话。船对多船场景,支持手动或自动建立群组,进行语音广播或互通,并随位置变化实时更新群组成员。指挥中心对多船场景,支持指挥中心呼叫任意船只或群组。

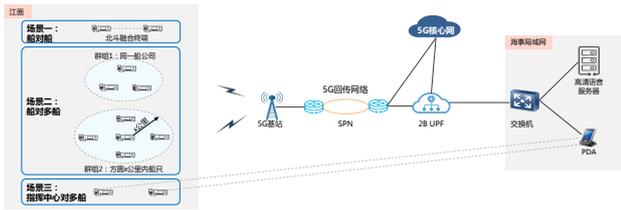


图6 智能分组高清集群通信

3.3 船舶动态全景监控及可视化远程协同

虚拟现实(VR)与增强现实(AR)能够彻底颠覆传统人机交互内容,通过5G+AR鹰眼摄像头+AIS终端+船舶传感器集群,结合江图数据,实现船舶动态全景监控,如图7所示。支持以选中船舶为目标,实时动态了解船舶动力、操控、气象、吃水及视频等全方位船舶航行数据,实现江图要素显示、航行风险预警、报闸过闸管理和违规船舶监控。

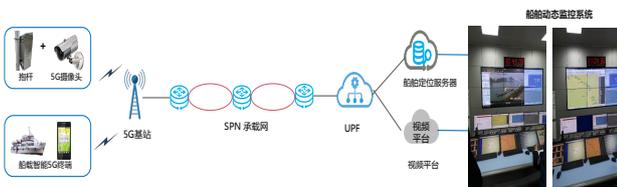


图7 船舶动态全景监控

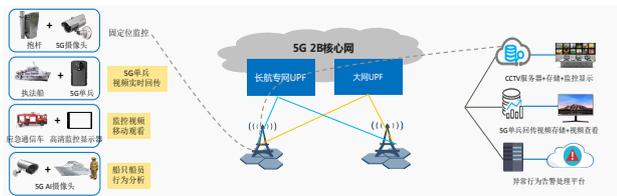


图8 远程实时可视化协同

通过5G无线宽带回传网络,解决高清视频上传带宽不够的问题,实现江面高清视频的无损快速传送。图8中远程实时可视化协同,可实现视频移动采集,监控移动查看和视频实时回传。

4 结语

在陆地,5G技术已经为高清赛事转播的多热点高容量场景、智能电网的低功耗广连接场景、自动驾驶的低延时高可靠场景等提供了切实可行的解决方案。长江航运可以采用与运营商共建共享,快速实现5G覆盖,解决船岸间“最后一公里”宽带传输“瓶颈”,实现大数据实时分析与决策支持,可视化远程操控,混合现实远程运维服务,使智慧航运更好地服务于长江经济带建设。

参考文献:

- [1] 伍嘉,王志会,刘凡栋等.5G端到端切片技术实现探讨[J].邮电设计技术,2020(09):12-17.
- [2] 方珠威,陈亚权,李立平等.5G网络切片解决方案和关键技术[J].邮电设计技术,2020(03):70-74
- [3] 肖清华.国内5G频谱指配分析及建议[J].移动通信,2018,42(02):1-5.
- [4] 袁周阳,赵伟康,吴迪.基于UMa和RMa传播模型的5G覆盖性能研究[J].移动通信,2020(10):1-6.
- [5] 3GPP. 3GPP TR 36.873 V12.7.0: 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on 3D Channel Model for LTE(Relase 12)[EB/OL]. (2018-07-22)[2020-03-08]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.873/.

基金项目:长航宜昌5G智慧海事样板点项目,工业和信息化部移动物联网应用优秀案例(工信厅通信〔2020〕268号)。