



5G 赋能海上无人值守平台

夏如君

(中海石油(中国)有限公司海南分公司, 海南 海口 570135)

摘要: 海洋石油的勘探、开发和生产具有“高风险、高投入、高科技”的特点。海上自然环境的恶劣性、油气生产的高风险性等诸多制约因素以及对通信信号稳定性、设备运行可靠性、应急保障及时性的需求, 加大了海上井口平台无人值守的实现难度。通过对海上无人平台的现状、发展趋势和实现要求进行分析, 提出了海上井口平台无人值守 5G 通信方案。在中心平台与井口平台间搭建 5G 网络, 并进行传输速率、距离、时延等现场测试, 测试结果显示 5G 通信满足井口平台安防监控、远程操控、紧急停车等高可靠低时延稳定性传输。该方案为海上无人值守井口平台的建设积累了经验, 奠定了坚实的基础。

关键词: 无人值守平台; 5G 技术; 远距离传输; 高可靠低时延

中图分类号: TN91

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021144

5G technology enabling unmanned offshore platform

XIA Rujun

Hainan Branch of CNOOC (China) Co., Ltd., Haikou 570135, China

Abstract: The exploration, development and production of offshore oil are characterized by “high risk, high investment and high technology”. Many restrictive factors, such as the inferiority of offshore natural environment, the high risk of oil and gas production, and the demand for communication signal stability, equipment operation reliability and timely emergency support, make it more difficult to realize unmanned offshore platform. Based on the analysis of the status quo, development trend and implementation requirements of unmanned offshore platform, a 5G communication scheme for unmanned offshore platform was proposed. 5G network is built between the central platform and the wellhead platform, and the transmission rate, distance, delay and other field tests were carried out. The test results show that 5G communication meets the requirements of high reliability and low delay stable transmission, such as security monitoring, remote control, emergency stop and so on. The scheme has accumulated experience and laid a solid foundation for the construction of an unmanned offshore platform.

Key words: unmanned offshore platform, 5G technology, long-distance transmission, high reliability and low delay

1 引言

随着自动化和智能化的飞速发展, 中国海油

与国内各大知名自动化公司合作, 开展海上新型无人平台的方案研究与设计工作。但在实际运行中, 平台间通信采用微波和海缆通信技术, 由于

微波技术的低带宽和大风影响导致的通信不稳定,以及海缆建设维护成本高等问题,无法满足平台间生产网、办公网以及视频监控信息的传输带宽和可靠传输需求,因此并未实行真正意义上的无人化管理,一直延续有人驻守的管理模式。因此,必须另辟蹊径,借助 5G 通信新技术,保障平台间通信的可靠性,提高平台视频监控能力、可操控性和安全性,实现中心平台对井口平台“动想所动、看想所看、有险即关”的全方位监控、操作和保护,打造经济高效、安全可靠的海上智能油气田。

2 无人值守平台建设需求与现状

海上无人值守平台基于自动化技术、视频监控技术、远程操控技术以及应急保障技术,实现海上无人值守平台远程监控与操作,提高生产和管理效率,降低成本。无人值守平台建设自动化和智能化需求如下。

- 生产监测: 具备生产数据实时监测,设备健康在线检测和预测性维护功能。
- 视频监控: 实现生产现场全覆盖实时视频监控以及平台安防监控。
- 远程操控: 具备远程操作计量、安全阀、电泵等设备和远程紧急关断功能。
- 应急保障: 远程操控失效时有应急保障措施,如采用机器人进行生产紧急关断。

无人平台建造方面,国内从 1993 年开始建造第一座无人平台。随着平台无人化推进,中国海油已建平台的无人化改造和新建平台的无人化设计日趋成熟。中国海油各分公司开始探索实施井口平台无人化管理,建立平台无人化管理体系。同时,在生产自动化方面,基于机器人、大数据、人工智能等技术的成熟与应用,海上平台自动化、智能化水平已经满足无人值守平台要求。目前主要的制约因素是现有通信无法满足平台间各类设备、视频、操控指令等自动化生产数据的高带宽、低时延传输需求。

3 无人值守平台对通信的需求与现状

无人值守平台各业务对通信的需求主要包括带宽需求、时延需求和丢包率需求,具体指标需求见表 1。

表 1 无人值守平台各业务的通信指标需求

业务类别	带宽	时延	丢包率
远程视频监控	50~160 Mbit/s	<20 ms	<2%
远程生产操控	控制指令下达 下行>50 kbit/s	<10 ms	0
	图像/视频流上传 上行>50 Mbit/s	<20 ms	<2%
设备在线监测 与维护	10~100 Mbit/s	<20 ms	<2%
机器人巡检和 操控	10 Mbit/s~1 Gbit/s	<10 ms	0

国内海上平台间通信大多采用海缆和微波方式。微波通信具有组网部署快捷、安装灵活、设备紧凑、转运方便等优势。但由于其频率高、波长短、直线传播,在电波波束方向上若有遮挡物则会导致信号被反射或被中断,同时,微波通信受恶劣天气影响大,信号不稳定,通信易中断,效果不理想。相对于微波通信,海缆通信技术的优势在于可靠性高,不受恶劣天气影响,信号稳定;采用密集波分复用技术,通信带宽可扩展;频谱资源丰富,无须申请频谱。但海缆铺设难度和投资巨大,回收周期长,导致成本高、经济效益低。

鉴于海缆和微波通信方式的局限性,随着 4G 通信技术的高速发展与成熟,海上平台提出建设 4G 专网,采用 4G 无线宽带技术覆盖区域内集中分布的多海上平台。4G 优势在于移动性强、稳定性高、传输距离远、传输速度快;可取代海底光缆的铺设,覆盖方案灵活、易实施、易维护、投资小。4G 网络已作为新型海上平台接入网建设方案重点,但在无人值守平台的应用中 4G 网络传输技术仍存在不足,即网络宽带无法满足平台间实时数据的高带宽、低时延传输需求,制约海上平



台无人值守进程的发展。

4 无人值守平台 5G 覆盖方案

4.1 5G 关键技术

(1) 5G 网络切片和 QoS 机制

5G 网络切片是一种按需组网的技术,独立组网架构下将一张物理网络虚拟出多个不同特性的逻辑子网络,不同的网络切片之间既相互隔离也可共享资源。5G 系统中采用 QFI (QoS flow ID) 标识 QoS (quality of service) 流。一个 PDU 会话中 QFI 保持唯一,具有相同 QFI 的用户面业务流获得相同的转发处理方式。5G 网络切片实现多业务 QoS (时延、传输速率、丢包率) 不同的特殊性要求,采用灵活的帧结构、QoS 区分等多种技术结合的方式实现无线资源的智能调度,并通过灵活的无线网络参数重配置功能,实现差异化的切片功能。5G 网络切片和 QoS 机制分别如图 1 和图 2 所示。

(2) 5G 高带宽、低时延、远距离传输技术

5G 相较于 4G 流量密度、连接密度、时延、峰值速率等 8 项关键技术指标都有较大幅度的提

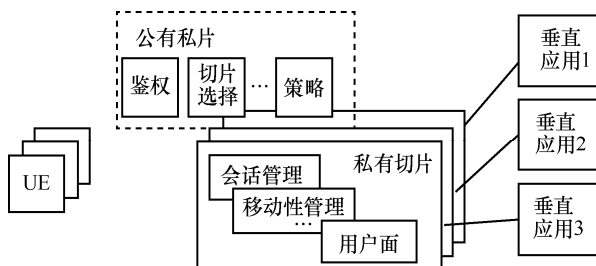


图 1 5G 网络切片

升, 4G 和 5G 关键指标对比见表 2。

大规模天线 (massive MIMO)、新型 F-OFDM (filtered-OFDM) 多址技术、更高阶 QAM (quadrature amplitude modulation, 正交幅度调制) 的使用大大提高了频谱效率, 结合高频宽、载波聚合等技术的应用, 5G 通信速率带宽得到极大提升。

5G 扁平化架构、MEC (mobile edge computing, 移动边缘计算) 技术以及 UPF (user plane function, 用户平面功能) 虚拟化灵活部署等网络架构技术, 结合上行免调度、极端调度周期等无线技术, 大幅度降低了业务在 5G 网络中的时延。

5G 支持多种 PRACH (physical random

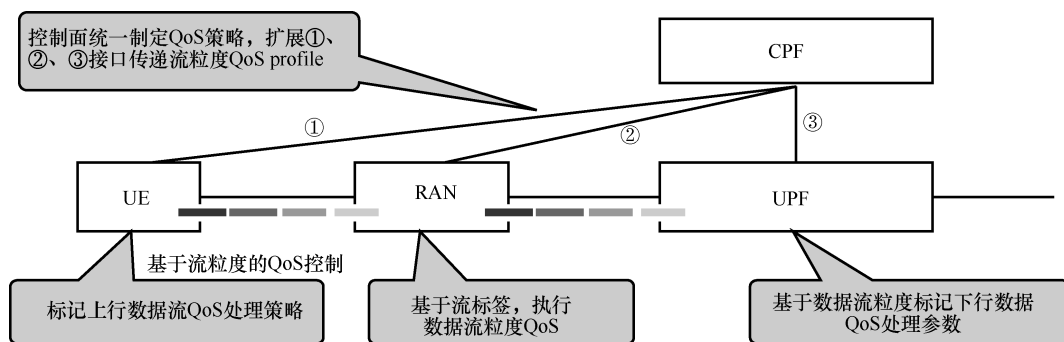


图 2 5G QoS 机制

表 2 4G 和 5G 关键指标对比

关键指标	流量密度	连接密度	峰值速率	网络能效	用户体验速率	移动性	频谱效率	时延
5G	10 Tbit/(s·km ²)	1 Mbit/(s·km ²)	10 Gbit/s	100	100 Mbit/s	500 km/h	3	1 ms
4G	10 Gbit/(s·km ²)	1 kbit/(s·km ²)	100 Mbit/s	1	<10 Mbit/s	120 km/h	1	100 ms
对比	提高 1 000 倍	提高 1 000 倍	提高 100 倍	提高 100 倍	提高 10 倍	提高 4 倍	提高 3 倍	降低 99%

access channel, 物理随机接入信道) 格式, 支持多种覆盖场景和小区半径。本文采用了合理的特殊时隙配置、PRACH 增强检测技术、高增益天线技术等既实现了远距离覆盖又保证了高容量。

4.2 5G 井口平台覆盖方案

4.2.1 系统组网

系统采用 5G 独立组网模式, 在 9-2/9-3 中心平台安装 5G 核心网和 BBU (基带处理单元), 采用四通道 RRU (射频拉远模块) 进行无线覆盖。在 8-3B 井口平台部署 5G CPE, 打通 9-2/9-3 中心平台与 8-3B 井口平台之间的 5G 通信链路。5G 无线网络子系统组网如图 3 所示。

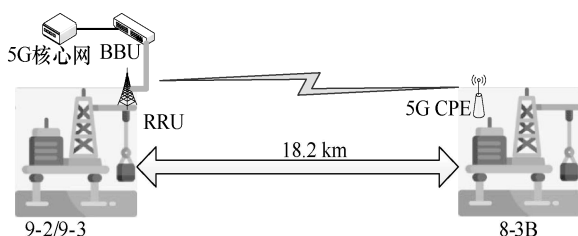


图3 5G无线网络子系统组网

(1) PRACH 检测专利算法及系统仿真

PRACH 选用 Format0 格式, 可以尽可能小地占用无线资源承载 PRACH, 有助于提高系统上行吞吐量和上行业务信道的覆盖性能。符合生产平台生产以监控业务上行为主的需求特征。

Format0 格式情况下, 由于帧结构的 GP 长度为 $96.88 \mu\text{s}$, PRACH 理论覆盖只有 14.5 km, 超过 14.5 km, 上行 PRACH 信号序列接收不完整, 检测概率有恶化, 影响接入。为此针对 PRACH 检测采用了增强检测专利算法, 通过系统仿真, 覆盖距离 18 km、22 km 情况下均可以检测到 PRACH。

(2) 链路预算与天线选择

5G 基站发射功率 $4 \times 80 \text{ W}$, 采用 17 dBi 板状高增益天线, 天线数 4T4R, 安装在 9-2/9-3 中心平台, 距离海面 35 m。5G CPE 发射功率 200 mW, 采用 17 dBi 板状高增益天线, 天线数 2T4R, 安装在 8-3B 井口平台, 距离海面 30 m。

根据海面传播条件, 采用自由空间传播模型, 按照上下行速率分别不低于 100 Mbit/s 的需求, 链路预算结果见表 3。

表3 速率与覆盖距离链路预算结果

工作频宽	上行 100 Mbit/s	下行 100 Mbit/s
20 MHz 带宽	22 km	50 km (视距)
40 MHz 带宽	40 km	50 km (视距)

4.2.2 安装部署

9-2/9-3 中心平台上, 5G 核心网、BBU 安置在生产区中控室内, RRU 设备安装在中层甲板非防爆区, 天线指向 8-3B 井口平台方向。

8-3B 井口平台上, 5G CPE 天线安装在中控室外非防爆区, 指向 9-2/9-3 中心平台方向, 5G CPE 及供电电源安装在井口平台中控室内, 5G CPE 采用衰减率低的 RF 馈线进行天线拉远。

5 现场试验验证

5.1 现场组网说明

9-2/9-3 中心平台由 5G 核心网、BBU、RRU、高增益天线、交换机、路由器、笔记本电脑等设备组成, 其中高增益天线位于中层甲板左舷舷边, 安装高度距海面约 35 m。8-3B 井口平台由 5G CPE、高增益天线、路由器、笔记本电脑等设备组成, 其中高增益天线位于上层甲板, 安装高度距海面约 30 m。现场组网如图 4 所示。

5.2 测试方案

采用笔记本电脑、5G 核心网和基站网管软件、GPEF、Xlight、CuteFTP、NetMeter 等测试工具, 在 9-2/9-3 中心平台上, 测试计算机连接至万兆交换机, 在 8-3B 井口平台上, 测试计算机连接至 5G CPE LAN 口, 进行信号质量、通信速率、时延和丢包率的测试。

测试配置如下。

(1) 5G 系统配置: 基站 RRU 采用上下行各 40 MHz 频宽, FDD 制式。



图5 上行速率

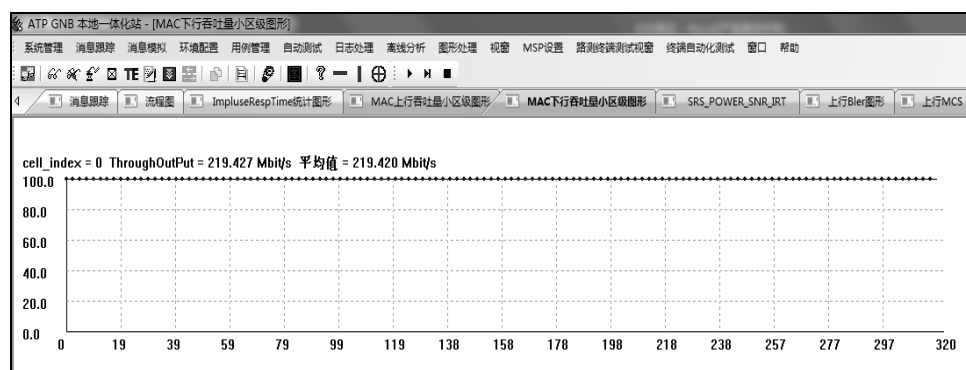


图6 下行速率

客户端分别对进行多文件（8 个文件）上传和下载操作，上传和下载至 Xlight 服务器，并持续 5 min 观察上传速率和下载速率。在 8-3B 井口平台测试计算机对 9-2/9-3 中心平台测试计算机进行 ping 操作，持续 ping 包 200 次，统计时延和丢包率，结果显示端到端往返平均时延 19 ms，最短往返时延 9 ms，丢失 0%。测试结果如表 6 和图 7、图 8 所示。

表6 传输速率模拟测试结果

类别	测试结果
单用户上行吞吐量	上行速率 100 Mbit/s
单用户下行吞吐量	下行速率 150 Mbit/s
单向平均时延	9.5 ms
单向最短时延	4.5 ms

5.4 测试结果分析

9-2/9-3 中心平台与 8-3B 井口平台间 5G 无线网络远距离传输时延、速率及稳定性情况见表 7。

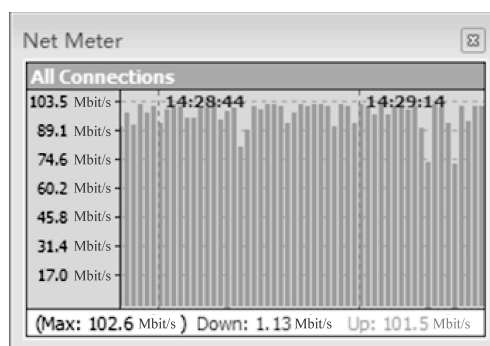


图7 上行传输速率

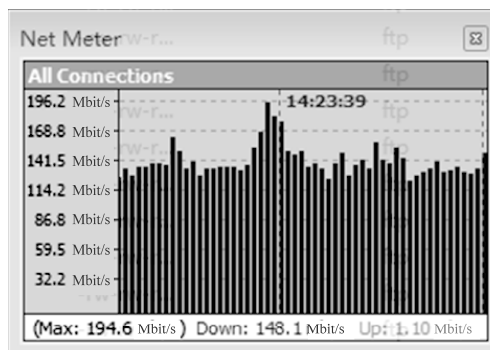


图8 下行传输速率



表7 测试结果

项目	测试结果
传输速率 上行	100 Mbit/s
下行	150 Mbit/s
ping 丢包率	0, 无丢包
ping 时延	19 ms
接入 CPE RSRP	-78~85 dBm
5G 基站、CPE 间隔距离	20 km

对比测试结果和无人值守平台各业务的通信需求指标, 5G 无线网络传输速率和时延均满足中国海油平台间各业务通信的要求, 实现了 9-2/9-3 中心平台与 8-3B 井口平台间近 20 km 的远距离无线通信。

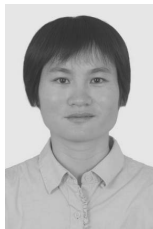
6 结束语

无人值守平台可以减少生活区模块设计制造, 降低平台整体建造成本投资; 无须人员长期驻守, 降低运营维护成本, 提高人身安全; 保障边际油田的生产和台风季节油田生产的不断, 从而增加了经济效益; 提升井口平台管理水平, 引领海上油气田管理转型, 推动可持续性发展。海油井口平台无人值守将是未来的发展趋势, 而 5G 新技术的发展与应用则为海上井口平台无人化提供最佳的基础网络支撑, 实现海上井口平台从有人到无人的“颠覆性创新”。

参考文献:

- [1] 中海石油(中国)有限公司上海分公司. 打造海上智能油气田实施井口平台无人化管理[J]. 中国石油企业, 2017(11): 88-93.
CNOOC (China) Co., Ltd. Shanghai Branch. Build offshore intelligent oil and gas fields to implement unmanned management of wellhead platforms[J]. China Petroleum Enterprise, 2017(11): 88-93.
- [2] 万青霖. 海洋石油平台多种通信方式的应用概述[J]. 中国海洋平台, 2016, 31(6): 9-14.
WAN Q L. Application analysis of offshore platform based on a variety of communication methods[J]. China Offshore Platform, 2016, 31(6): 9-14.
- [3] 邓静, 黄海宏, 陈磊, 等. 远海海域油气平台通信网络技术应用研究[J]. 数字通信世界, 2016(11): 1-4.
DENG J, HUANG H H, CHEN L, et al. Study on application of communication network technology in oil and gas platform in far offshore area[J]. Digital Communication World, 2016(11): 1-4.
- [4] 3GPP. Physical channels and modulation (Release 16): TS 38.211 V16.5.0[S]. 2021.
- [5] 3GPP. System architecture for the 5G System (5GS); Stage 2 (Release 16): TS 23.501[S]. 2021.
- [6] IMT-2000(5G)推进组. 5G 愿景与需求白皮书[EB]. 2014.
IMT-2020 (5G) Promotion Group. 5G vision and requirement white paper[EB]. 2014.
- [7] 工业互联网产业联盟(AII) 5G 应用产业方阵(5G AIA). 5G 与工业互联网融合应用发展白皮书[EB]. 2019.
Alliance of Industrial Internet (AII) 5G Applications Industry Array (5G AIA). 5G and industrial internet convergence application development white paper[EB]. 2019.

[作者简介]



夏如君(1973-), 女, 中海石油(中国)有限公司海南分公司高级工程师、科技与信息化部副经理兼信息化管理经理, 主要研究方向为计算机软件及应用。

收录声明

本刊已被中国核心期刊遴选数据库(万方)、中国学术期刊数据库(知网)全文收录,被本刊录用的文稿,将一律由编辑部统一纳入中国核心期刊遴选数据库(万方)、中国学术期刊数据库(知网)。若作者不同意被收录,将在来稿时向本刊说明,本刊将做适当处理。若无特别声明,视同将录用文稿的电子网络版、汇编或合订本的使用权授予本期刊社,本刊支付的稿费中已包含上述费用。

The articles of *Telecommunications Science* have been embodied by WANFANG DATA and CNKI. The accepted articles will be unified into WANFANG DATA and CNKI. If the author does not agree to his or her article to be included, the author must illustrate when the article is submitted. The editorial department will properly handle. If the authors do not give a special announcement, the editorial department believes that the authors have granted the right of their articles to *Telecommunications Science*. The expenses have been included in the fee paid by editorial department.

道德声明

本刊发表的文稿是作者独立取得的原创性研究成果,无一稿多投;文稿内容不涉及国家机密;未曾以任何形式用任何文种在国内外公开发表过;文稿内容不侵犯他人著作权和其他权利。若发生一稿多投、侵权、泄密等问题,文稿作者将承担全部责任。

The authors of *Telecommunications Science* guarantee that their submitted articles are original and contain nothing confidential. The said article is only submitted to *Telecommunications Science*. The said article has not been published before and has not been submitted elsewhere for print or electronic publication consideration. The said article is in no way whatever a violation or an infringement of any existing copyright or license from the third party. Otherwise, the authors of the said article shall take the blame for the violation or infringement of the related copyright and the leakage of secrets.

电信科学

Telecommunications Science



邮发代号: 2-397 国外代号: M841 定价: 68.00元

ISSN 1000-0801

