

doi: 10.7690/bgzd.2024.03.010

基于 5G 通信与北斗短报文的近海小型浮标通信系统设计方法

钱帆, 赵启兵, 蒋婷婷, 喻子颖, 朱晨帆
(中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海 200011)

摘要: 针对近海小型浮标仅采用单模方式与岸基进行通信的问题, 提出一种北斗短报文与 5G 通信相结合的近海小型浮标通信系统设计方法。搭建浮标与岸基指挥所的通信链路, 实现岸基指挥所与浮标之间的远程信息交互功能, 其中浮标采集的水文气象等信息通过当前锚定区域的最优通信链路上传至岸基指挥所, 岸基指挥所远程控制浮标完成相应任务。实验室模拟结果表明: 在 5G 通信与北斗三号全球卫星导航系统技术支持下, 本系统能够增强小型浮标在恶劣海况下的鲁棒性、提升数据传输的安全性以及提高通信质量。

关键词: 浮标; 5G 通信; 北斗短报文; 链路切换

中图分类号: TN98 **文献标志码:** A

A Design Method of Offshore Small Buoy Communication System Based on 5G Communication and Beidou Short Message

Qian Fan, Zhao Qibing, Jiang Tingting, Yu Ziyang, Zhu Chenfan
(Marine Design and Research Institute of China, Shanghai 200011, China)

Abstract: In order to solve the problem that offshore small buoys only use single mode to communicate with the shore-based, a design method of offshore small buoy communication system combining Beidou short message and 5G communication is proposed. The communication link between the buoy and the shore-based command post is built to realize the remote information interaction function between the shore-based command post and the buoy, in which the hydrological and meteorological information collected by the buoy is uploaded to the shore-based command post through the optimal communication link in the current anchoring area, and the shore-based command post remotely controls the buoy to complete the corresponding tasks. Laboratory simulation results show that with the support of 5G communication and Beidou-3 global navigation satellite system technology, the system can enhance the robustness of small buoys in harsh sea conditions, improve the security of data transmission and improve the quality of communication.

Keywords: buoy; 5G communication; Beidou short message; link handover

0 引言

我国是海洋大国, 有三百多万平方千米的经济专属区和一万八千千米的海岸线; 因此, 海洋环境监测技术的发展是我国海洋强国战略发展的重中之重, 而浮标是海洋环境观测领域最常用的手段之一^[1-3]。浮标是锚泊在固定区域的海洋水文气象自动观测站, 通过携带不同的感知设备, 可以测量不同的水文气象信息。相较于传统的有人岸基观测站, 它在位时间长, 能为海洋资源勘测、港门建设及水生物养殖等多行业提供重要的水文气象信息, 尤其在恶劣海况下可代替人类完成相关工作。同时相对其他的海洋监测手段, 效费比更高。因此, 开展智能浮标的设计与分析, 能够更好地推动我国海洋强国的建设。

由于海洋环境的复杂性与多样性, 海洋通信无

法和内陆城市一样进行大规模有线电缆的铺设, 导致浮标只能通过无线传输的方式与岸基指挥所进行数据传输; 因此, 稳定可靠的通信系统和通信协议是浮标完成水文气象监测任务的一项关键技术。目前, 国内外小型浮标通信一般采用单模通信方式, 仅适配某一类型无线传输方式, 系统的可选择性较少, 环境适应性较差, 一旦通信系统出现故障且遇到极端天气后, 浮标在海洋中丢失的可能性较大。

针对上述问题, 笔者提出一种基于 5G 通信与北斗短报文的近海小型浮标通信系统的设计方法。在不同的水文气象环境下, 浮标将自身收集的多类型数据按照预定的协议封装后, 可选择当前最优的通信链路, 发至岸基指挥所, 从而克服了在恶劣海况下对浮标通信系统的影响, 使浮标能与岸基指挥所进行稳定可靠的通信, 为我国近海海洋环境监测技术发展路线提供参考。

收稿日期: 2023-11-11; 修回日期: 2023-12-18

第一作者: 钱帆(1994—), 男, 安徽人, 硕士。

1 浮标常用通信体制介绍

目前海洋浮标常用通信方式主要包括天通一号卫星通信系统、公共移动通信网络(2G、3G、4G、5G)、北斗卫星导航系统、Argos 卫星系统以及铱星系统等^[4]。如表 1 所示,从通信方式、数据速率、通信费用和安全保密性等方面对浮标常用通信体制进行分析对比。

表 1 浮标常用通信体制对比

通信体制	天通一号	5G 通信	北斗短报文	Argos	铱星
通信方式	双向数据通信	双向数据通信	短报文通信	双向数据通信	双向数据通信
数据速率	384 kbps	10 Gbps	不支持	4.8 kbps	128 kbps
通信费用	一般	低	较低	低	较高
通信延迟	低	极低	低	高	较高
保密性	极高	高	极高	低	低
适装性	较低	高	高	高	高
功耗	较高	较低	较低	较低	较低

天通一号卫星移动通信系统是我国自主研发的卫星通信系统,可为中国及周边、中东、非洲以及太平洋、印度洋大部分海域用户,提供全天候、全天时、稳定可靠的话音、短消息和数据等移动通信服务^[5]。天通一号卫星的带宽最高可达 384 kbps,但天通的数据资费高达 16 元/MB,同时天通用户终端对浮标终端设备的发射功率以及天线尺寸有一定的要求;因此,小型浮标平台上搭载天通一号卫星移动通信系统较为困难。

相对于远海浮标而言,在近海岸线和内河的浮标通常在中国电信、移动、联通运营商的信号覆盖范围内。作为一种新型移动通信网络,相较于之前的 4G、3G 以及 2G,5G 速率更快、低时更低、容量更大;同时,5G 传输安全算法比前几代移动通信网络标准支持的算法更加全面,能为用户终端提供更高的安全防护。海洋气象环境相对恶劣,5G 通信在海上的通信质量无法保障;因此,单依托 5G 通信无法保证通信系统的可靠性。

随着北斗三号全球卫星系统的全面建设,北斗系统对于海洋监测产业的发展辐射带动作用也得到了显著增强。北斗卫星导航系统作为我国自主研发的卫星导航系统,具备以下优点:1) 组网速度快,可迅速组成一对多,多对一的双向通信网络;2) 响应速度快、通信延迟且费用低;3) 抗干扰能力强,可保证极端天气条件下的通信;4) 终端设备价格低;4) 每个终端的 SIM 卡卡号唯一,信息传输安全性高;5) 覆盖范围广^[6]。北斗短报文通信技术可

有效地解决浮标在恶劣环境时的通信问题,实现浮标与岸基指挥所的远程信息交互功能;但就目前来说北斗短报文通信在浮标监测领域也有不足的地方:1) 通信频率受限;2) 单次通信容量有限,北斗三号短报文通信能力每次仅能达到 560 比特(40 个汉字)。

Argos 卫星系统是法国国家空间研究中心与美国航宇局和海洋大气局合作的第 1 个全球定位和数据采集卫星系统,其终端体积小,环境适应性强,可广泛应用于各个平台,但该系统速度传输速率仅有 4.8 kbps 左右,终端需卫星过顶时才能进行数据传输,延时相对较大。铱星系统是美国摩托罗拉公司设计的第 1 个全球移动通信系统,它由 66 个低轨道卫星组成,可在全球范围内进行通信,且通信费用低,在国外广泛应用于各个行业^[7];但上述 2 个系统均由国外设计开发,所有数据均需境外的数据处理中心处理以后再转发给各个用户端,对我国的信息安全构成一定威胁。

综上所述,依靠单一的通信手段难以满足浮标与岸基进行稳定可靠的信息交互需求,笔者拟将 5G 通信技术与北斗短报文通信网络技术相融合,进一步提升通信的可靠性。

2 浮标通信系统的总体设计

2.1 系统的主要组成

近海小型浮标通信系统主要为近海小型浮标提供北斗定位坐标及实现双向数据通信。从通信延迟及带宽等多方面考虑,浮标与岸基进行信息交互时优先使用 5G 通信。考虑到浮标的运动姿态在恶劣海况下不断发生变化,近海小型浮标主要使用北斗卫星导航进行定位,在 5G 信号中断或是 5G 信号不良的情况下,自动使用北斗短报文方式进行双向通信。本文中的通信系统主要由浮标外壳、主控单元、北斗天线、5G 天线、传感器、锂电池和太阳能电板等组成,具体组成如图 1 所示。

2.2 浮标通信系统的硬件设计架构

本文中基于 5G 通信和北斗短报文的通信系统硬件结构是以主控单元为核心,主要完成传感器数据的采集、协议的封装以及控制等功能。笔者采用通用微处理器 STM32F407VET6 芯片作为浮标通信系统的主控单元。STM32F407VET6 是一种基于 ARM Cortex™-M4 为内核的高性能微控制器,具备丰富的外设接口。且可以利用支持 Compact Flash、

SRAM、PSRAM、NOR 和 NAND 存储器的灵活静态存储器控制器轻松扩展存储容量;5G 通信模块通过 TTL 接口为主控单元与岸基指挥所之间建立一条数据交换通道,通过射频接口与浮标顶部的 5G 天线连接;北斗模块具备短报文通信、北斗定位以及授时等多种功能,通过射频接口与浮标顶部的北斗天线连接,北斗模块通过 RS232 串口与主控单元进行通信。

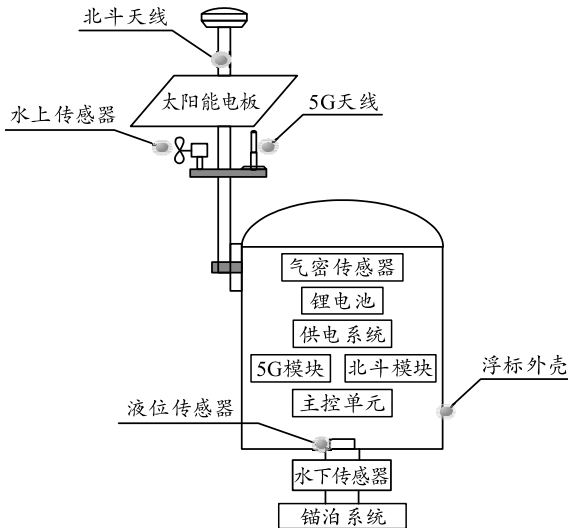


图 1 浮标通信系统组成

姿态传感器通过 IIC 接口向主控单元输出浮标在实际工作过程中的纵、横摇等信息;水上传感器主要包括风速风向传感器、能见度仪、温湿度传感器和室外气压等传感器,这些传感器均通过 ADC 接口与主控单元连接;水下传感器主要包括 ADCP 传感器、多参数水质仪和营养盐分析仪等传感器,这些传感器均通过 RS485 接口与主控单元连接。

锂电池的电压经供电系统的分压模块来分压,最后输入到 STM32F407VET6 芯片的 ADC 管脚,通过芯片自带的数模转换器来对信号做处理,当测到的锂电池电压值低于阈值时,太阳能电板开始对锂电池进行充电。浮标内部安装了气密传感器和液位传感器,当浮标舱门异常打开或浮标内部积水到达一定高度时,通信系统自动向岸基指挥所上报异常状态。近海小型浮标通信系统硬件设计框架如图 2 所示。

2.3 浮标通信系统的软件设计架构

在软件工程开发中,软件架构对于开发人员是一个必须认真考虑的问题。如图 3 所示,近海小型浮标的通信系统总框架分为 2 层:1) 应用层设计,包含 5G 通信、北斗通信、网络切换和协议封装等

子模块;2) 驱动层设计,包含定时中断、接口调度等子模块,整体架构清晰,便于当前开发和后续的升级改造。

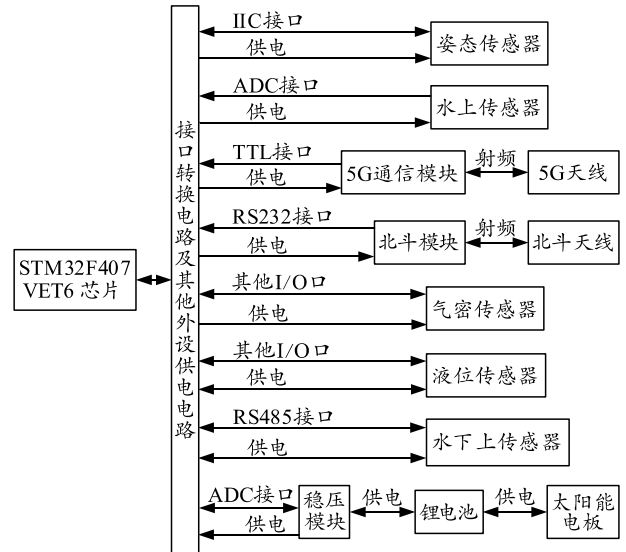


图 2 近海小型浮标通信系统的硬件设计框架

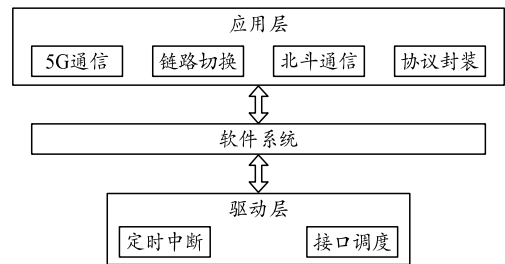


图 3 近海小型浮标通信系统的软件设计框架

2.3.1 主程序设计框架

主程序是整个通信系统运行的“核心部分”,如图 4 所示,在接入锂电池供电以后,首先整个通信系统需要对各个模块进行初始化设置,然后等待各个传感器模块及通信模块等设备状态信息反馈;完成系统初始化检查以后,通信系统开始等待主控单元的各个传感器数据接口是否获取到数据,如有则按照预先设定好的优先级来接收数据并根据协议来进行相应的处理;当完成传感器的数据采集以后,系统将等待定时器中断触发,达到触发条件以后,系统通过当前最优通信链路向岸基指挥所发送气象水文信息以及浮标工作状态等信息;同时,系统会一直等待岸基指挥所的作业指令,当收到岸基指挥所的作业指令以后,系统将收到的指令根据协议进行解析,控制浮标完成相应的作业任务;当系统完成所有任务以后,会短暂进入低功耗模式,直到收到岸基指挥所新的作业指令或下一次定时器中断事件的触发。

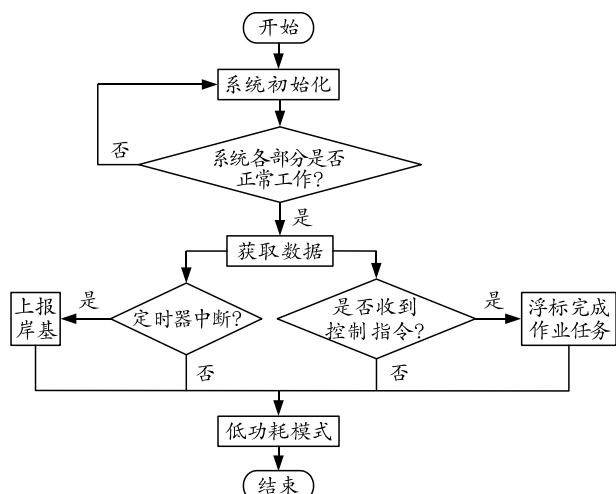


图 4 主程序设计框架流程

2.3.2 5G 通信设计框架流程

5G 通信设计流程主要包括：模块初始化→模块向岸基指挥所的数据服务中心建立连接→进行数据的收发，5G 通信设计流程具体如图 5 所示。

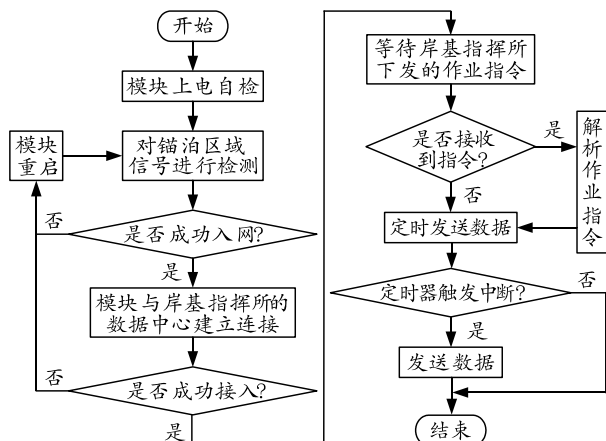


图 5 5G 通信设计框架流程

2.3.3 北斗通信设计框架流程

北斗通信设计流程主要包括：模块上电初始化→系统检测工作状态→进行数据的收发。北斗通信设计流程具体如图 6 所示。

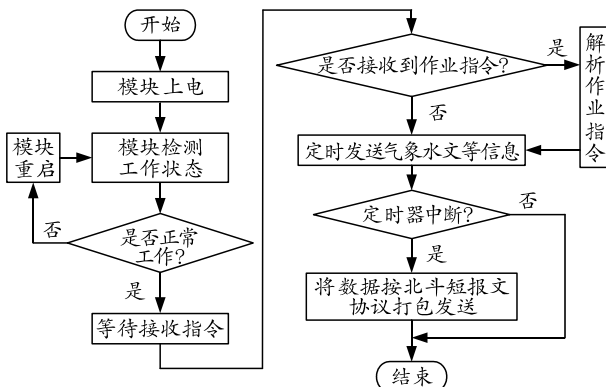


图 6 北斗通信设计框架流程

2.3.4 链路切换设计框架流程

浮标通信系统的链路切换是依据浮标根据对当前锚泊区域通信链路状态的检测结果，来判断当前是否需要浮标的通信链路进行切换。笔者给出 5G 和北斗短报文 2 种通信接口，链路切换设计流程如图 7 所示。

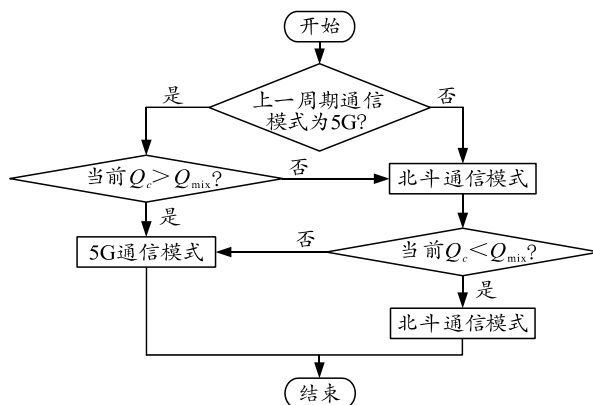


图 7 链路切换设计流程

链路切换设计具体流程如下：

1) 浮标系统在与岸基指挥所进行信息交互过程中，会定时通过 AT 指令查询来获取当前浮标锚泊区域公共移动通信网络的信号强度值 Q_c 。

2) 如果上一个任务周期浮标与岸基指挥所进行信息交互的通信模式为 5G 通信，首先判断当前信号强度值 Q_c 是否高于系统所设置的阈值 Q_{mix} ，如果 $Q_c > Q_{mix}$ 则表示当前区域公共移动通信网络信号良好；如若连续 3 次 $Q_c < Q_{mix}$ ，则浮标通信系统默认为当前 5G 通信链路质量较差，此时浮标将通过北斗短报文向岸基指挥所发出切换到北斗通信模式的请求，岸基指挥所在接收到浮标的请求以后会立刻向浮标发送一个收到请求的反馈，表示同意切换，浮标通信系统收到岸基指挥所的反馈以后，立刻切换到北斗通信模式。

3) 当通信模式为北斗通信时，浮标会持续监测公共移动通信网络的信号强度值 Q_c ，如若连续 3 次 $Q_c > Q_{mix}$ ，则浮标会向岸基指挥所发出切换到 5G 通信的请求。岸基指挥所在收到浮标的请求以后会立刻向浮标发送一个收到请求的反馈，表示同意切换，浮标将通信模式切换到 5G 通信，反之则保持当前通信模式。

2.3.5 通信协议设计

为使岸基指挥所接收的数据包格式统一，北斗短报文传输与 5G 通信传输的数据包格式相同。具体的数据包格式如表 2 所示。

表 2 数据包格式

头报文	识别码	总条数	序号	信息码	数据长度	数据场	校验位	尾报文
2 字节	3 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	0~67 字节	1 字节	2 字节

笔者设计的通信协议是针对近海小型浮标和岸基指挥所之间的。主要分为上行数据帧和下行数据帧。下行数据帧是岸基指挥所对浮标发送的作业指令，上行数据帧是浮标上报给岸基指挥所水文气象及浮标自身状态等信息。各字段含义如表 3 所示。

表 3 字段含义

字段名称	字段含义
头报文	表示信息指示的标志位
通信模式	用于表示当前浮标与岸基指挥所，采用哪种通信模型进行信息交互
识别码	该部分由北斗模块的 SIM 卡卡号表示，作为浮标的唯一标识码
总条数	用于表示该类信息的总条数
序号	当前已经发送该类型数据的帧数
信息码	该字节用于表示何种类型的下行作业指令、何种类型的上行数据
数据长度	该帧数据的有效位长度
校验位	从该帧数据的头报文到尾报文前一个字节的异或结果
尾报文	信息终止位

该通信协议可使浮标与岸基高效地完成信息交互。上、下行数据帧均包含 1 个字节的 CRC 校验位，当数据包校验错误时，接收方将丢弃该帧数据，并告知发送方收到错误信息的反馈，发送方将对错误的帧数据进行重传。考虑到北斗模式下系统的通信频度受限制，只有在 5G 通信模式下才有反馈机制。

3 系统试验测试

在实验室中进行近海小型浮标通信系统的测试，评估通信系统性能，系统理论测试连接逻辑如图 8 所示。

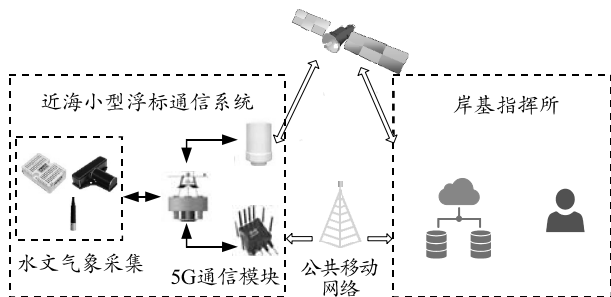


图 8 理论测试连接逻辑

由于目前北斗三号卫星推广建设在民用领域还未完全商业化，终端设备仅配有测试卡，暂无配发正式通信卡。为验证系统的功能性，浮标通信系统的北斗信道接口采用串口直连的方式与岸基指挥所进行连接，系统实际测试连接逻辑如图 9 所示。

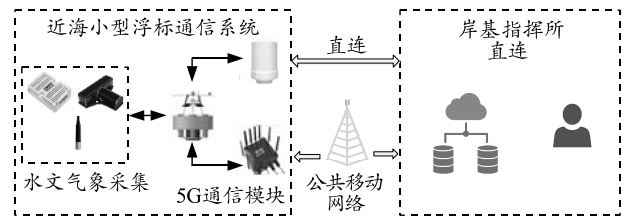


图 9 实际测试连接逻辑

将浮标采集到数据包的上限值设置为 1 000 个，每隔 1 min 向岸基指挥所上报一次数据包，共做 4 组实验，在测试期间随机按下 5G 通信模块复位键，模拟公共移动通信网络信号中断或是信号不良的情况。测试结果如表 4 所示。可以计算 99.6% 的上行数据通过 5G 通信链路上报给岸基指挥所，0.04% 的上行数据通过北斗信道(模拟)发送。实验室的多组模拟实验数据表明：系统严格按照预先设定的逻辑选择了当前最优通信链路与岸基指挥所进行了信息交互，稳定可靠，达到了预期设计要求。虽然采用直连的方式来模拟了北斗信道的数据传输，但对于本系统来说，北斗仅提供了信道，对于系统的模拟测试并无影响。

表 4 实验室模拟情况

分组	浮标发送数据包数	岸基接收数据包数	北斗信道接收数据包数	5G 接收数据包数
1	1 000	1 000	3	997
2	1 000	1 000	4	996
3	1 000	1 000	7	993
4	1 000	1 000	2	998

4 结束语

笔者以近海小型浮标为载体，提出一种基于 5G 通信与北斗短报文的浮标通信系统的设计方法。该系统将 5G 通信与北斗短报文相互结合，实现浮标与岸基指挥所的信息交互且能切换到当前最优通信链路，能够克服在恶劣海况下对浮标通信系统的影响，可以替代铱星等国外浮标通信体制，有利于我国“浅海”走向“深蓝”的战略发展，且对于 5G 通信和北斗三号全球卫星导航技术的应用推广具有很好的示范意义。

参考文献：

[1] 梁娟, 史文华, 杜朝. 基于卫星通信和无人船的海洋监测技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(8): 12-15, 20.
 [2] 尹路, 李延斌, 马金钢. 海洋观测技术现状综述[J]. 舰

船电子工程, 2013, 33(11): 4-7, 13.

- [3] 庞江成, 徐小涛, 李超. 卫星移动通信系统发展现状分析[J]. 数字通信世界, 2020(1): 144-147.
- [4] 李明光. 天通一号数传终端在海洋浮标上的应用[J]. 信息通信, 2017(8): 24-26.
- [5] 黄思育. 基于天通卫星通信的海洋浮标监测系统设

[J]. 东莞理工学院学报, 2021, 28(1): 43-47.

- [6] 王世明, 李晴. 基于北斗卫星导航系统的海洋监测浮标通信系统设计与应用[J]. 全球定位系统, 2016, 41(4): 102-105, 116.
- [7] 孔佑迪, 门雅彬, 齐占辉, 等. 基于铱星通信的海洋环境在线监测系统[J]. 电子技术应用, 2015, 41(8): 27-29.
- [18] 赵兴娜. 基于单片机的公交车语音报站系统设计[J]. 现代信息科技, 2021, 5(17): 47-50.
- [19] 吴寒君, 赵翠. 中波台智能语音监控系统设计研究[J]. 电视技术, 2020, 44(11): 75-76, 80.
- [20] 卢天增. 基于 Android 的智能机器人交互技术研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.

(上接第 29 页)

- [16] 罗国成. 浅析人工智能技术在播音主持领域的应用[J]. 信息记录材料, 2020, 21(3): 102-103.
- [17] 王铭杰, 田源, 付大同, 等. 新能源汽车低电量运行下的无线测距及智能语音交互系统[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(33): 12-17.

(上接第 31 页)

4 实验结果与分析

根据以上分析, 搭建了 30 个节点的集群进行测试, 分别采用轮询算法、gossip 算法以及本文中提出的 QUIC-gossip 算法, 测试结果如表 1-3。

表 1 轮询算法测试结果 μs

节点规模	最大时间	最小时间	平均时间
1	200 610	53 810	100 919
5	342 691	131 144	210 195
10	419 429	193 194	298 116
30	935 994	503 124	728 066

表 2 gossip 算法测试结果 μs

节点规模	最大时间	最小时间	平均时间
1	201 718	52 329	94 392
5	253 303	111 933	196 458
10	359 282	143 738	234 606
30	585 233	223 129	368 368

表 3 QUIC-gossip 算法测试结果 μs

节点规模	最大时间	最小时间	平均时间
1	144 791	84 963	92 177
5	224 207	125 861	188 259
10	327 419	152 835	213 590
30	508 834	235 250	315 633

对比表 1 和 2, 笔者发现在无线自组网的动态网络环境中, 传统轮询随节点数量表现出线性增长, 而 gossip 协议表现出对数关系。同时对比表 2 和 3, QUIC-gossip 算法能够降低同步数据的延迟, 同时可以看到测试数据中, 数据波动范围更小, 证明算法鲁棒性更强。

5 结束语

笔者提出一种基于 QUIC 的无线自组网数据同步算法, 能在无线自组网中实现高效、可靠和安全的数据传输。笔者在真实的无线自组网环境中部署了 QUIC-gossip, 并与其他信息交换机制进行了对比, 结果证明算法具有较好的性能表现。理论分析和对照实验结果证明: 该算法能够降低同步数据的延迟, 鲁棒性较强, 具有一定的创新性和实用性。

参考文献:

- [1] BAQUERO C, ALMEIDA P S, SHOKER A. Making operation-based CRDTs operation-based[C]. Proceedings of the First Workshop on Principles and Practice of Eventual Consistency, 2014.
- [2] JELASITY M, MONTRESOR A, BABAOLU O. Gossip-based networking for large-scale distributed systems[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2009, 41(3): 1-26.
- [3] ZHAO W, CHEN Y, RANJAN R. Peer-to-peer service provisioning in cloud computing environments[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2015, 26(7): 2026-2039.
- [4] IYENGAR J, THOMSON M. QUIC: A UDP-based multiplexed and secure transport[C]. Internet Engineering Task Force, Internet-Draft draft-ietf-quic-transport-34, 2021.
- [5] JELASITY M, MONTRESOR A, BABAOLU O. Gossip-based aggregation in large dynamic networks[J]. ACM Transactions on Computer Systems, 2005, 23(3): 219-252.