

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20210267

适用于水文应急监测的GNSS测流系统研究

孙振勇¹, 金奇¹, 戴剑²

(1. 长江水利委员会长江上游水文水资源勘测局, 重庆 400021;

2. 重庆长毛象科技有限公司, 重庆 400014;)

摘要:为提升水文应急监测技术能力,提出一种基于5G通讯技术和GNSS定位技术的测流系统设计方案,实现多用户对多流速球终端的远程监测、数据实时查看和存储功能。测流系统通过重庆、四川等地的实地环境试验测试,防水性能良好,工作时长大于48h,通讯指标均大于99.9%,精度比测指标相对误差均小于1%,能够满足水文应急监测的需要。

关键词:水文应急监测;流速球;5G;GNSS;3D打印

中图分类号:P335

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2023)01-0068-04

0 引言

近年来,地震、泥石流、山体滑坡等地质灾害以及突发水(环境)事件引起的水灾害事件频发,对人民生命财产安全威胁巨大。迅速开展水文应急监测工作,可为灾害风险评估、应急排险、应急处置提供数据服务和决策依据,有效降低风险和挽回生命财产损失^[1-2]。流量测验是水文应急监测工作的重要工作内容之一,因此在极端条件下开展水文应急监测,让流量测验工作实现保障安全、操作简便、精度可靠同时兼顾经济成本显得尤其重要。

水文应急流量测验方法按仪器分类大致可分为流速仪法、电波流速仪法、浮标法(天然/自制)、(侧扫)雷达测流法、声学多普勒流速剖面仪(ADCP)法^[3-4]。受现场条件限制,通常采用手持电波流速仪(SVR)和浮标法进行流量测验,极端情况下也可采用比降面积法。

手持电波流速仪测流精度受水位、流速流态、风力影响,且施测具有局限性,如:刘彦琳^[5]等在山溪性河流流速系数率定值为0.77~0.85之间,任六平^[6]在双家寨水文站系数率定值为0.806。自然或简易自制浮标法采用经纬仪或全站仪极坐标法测定浮标的不同

位置,以及位置间的时间差进行计算水面流速,需要多人员协同配合,视线通视情况良好,夜间无法施测。

浮标法有天然浮标、人工自制简易浮标和GNSS电子浮标。GNSS电子浮标问世于20世纪90年代,早期用于海平面测高观测、验潮高程检测等,后期运用在海上引导船舶导航、海上溢油监测等^[9-10]。国内将GNSS浮标应用于(内河)水文流量测验起步较晚,但发展迅速,南京、广州等仪器设备厂商及相关高等院校研发了此类产品。早期产品受GNSS芯片、通讯、制造技术等限制,存在着浮球终端体积庞大、搬运与投放不便、定位精度不高、无法实时多人多终端同步监测等不足,如卢海文等研制的基于ZigBee无线通讯追踪的GPS测流系统^[7]数据传输距离短,系统稳定性有待提高。

随着图像处理技术^[8]、无人机技术的飞跃进步,无人机影像测流技术发展较为迅猛,但目前仍处于研发、试验比测阶段。本文从提升水文应急监测能力的角度出发,致力于研究设计一款适用于水文应急监测的GNSS智能测流系统,终端仅为排球大小,搭载双馈点GNSS天线和5G通讯模块,用户用自身手机即可实现多浮球终端实时查看与监控、数据下载及简要分析。大量实验数据和实例运用表明,该测流系统运输

收稿日期:2021-06-23

网络首发日期:2023-01-19

网络首发地址:<https://kns.cnki.net/kcms/detail//11.1814.p.20230117.1817.007.html>

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFC1508602)

作者简介:孙振勇(1985—),男,江西泰和人,高级工程师,主要研究方向为水文测验、河道勘测、水文应急监测。E-mail:15923390456@163.com

注:本文研发的测流系统和软件端已获实用新型专利(ZL 2020 21908462.0)和软件著作权(2020SR0727573, 2020SR0727706)

便捷、布放简单、精度优良、技术稳定可靠,可满足抢险救灾中的水文应急监测快速数据采集工作。

1 设计研究

1.1 系统方案设计

基于5G(向下兼容4G,3G,2G频段)物联网技术和高精度GNSS定位追踪技术进行开发,采用3D打印技术制作成型浮球防水终端。系统采用5G技术在数据传输上具备高速率、低延时、大容量以及连接密度大等优势^[11-12],通过GNSS芯片采集防水终端位置信息和时间信息,交由CPU主板进行信息解析与数据计算,然后通过通讯信号将流速、流向、坐标数据传输分发到后台服务器、手机客户端APP,最终实现与用户、开发人员、决策者的信息交互。系统主要由浮球防水终端(外设模块)、云平台(服务器模块)和用户手机APP(应用模块)构成,系统设计架构、流速球样机如图1~2所示。

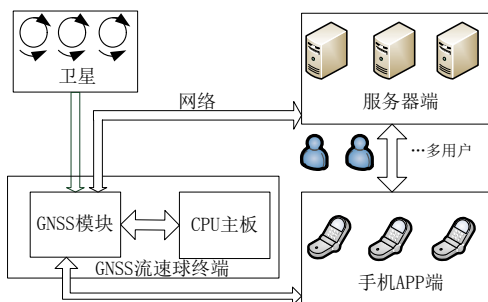


图1 系统设计架构

Fig.1 Whole layout of system structure

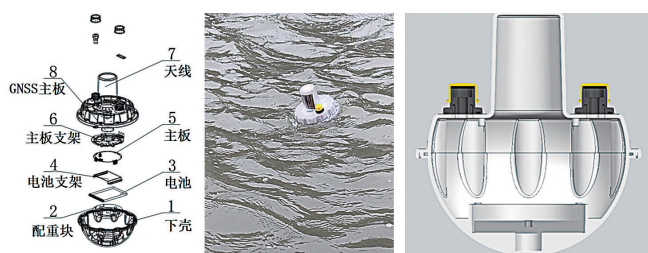


图2 流速球设计图与原型样机

Fig.2 The Smart Gaging GNSS diagram

流速球依赖于多普勒值进行测速,流速球抛入水面开始工作后,GNSS芯片利用载波相位差分得到的多普勒进行测速,这时所得到的速度为相邻两差分时间间隔期间的平均速度。

$$f_d = f_i \frac{2v_g \cos \gamma}{c} = f_i \frac{2v_r}{c} \quad (1)$$

式中: f_i 为多普勒测速仪(GNSS芯片)所发射的微波频率; v_g 为载体在运动方向上的速度分量,称之为地速; γ

为运动方向和回波方向之间的夹角; v_r 为载体相对回波方向的径向速度; c 为电磁波的传播速度。测得多普勒频移 f_d ,便可解算出载体的航行速度 v_g 或 v_r 。服务器端接收有效坐标、UTC时间等原始数据根据各应用模块计算出距离、历时、流速。结合GNSS高程信息,还可估算任意长度河段的平均比降。

1.2 系统终端设计

1.2.1 外观设计

流速球采用ABS热塑性材料为原料,经熔融沉积成形技术(FDM)3D打印^[12-14],成型工艺成熟度高,成本较低。3D一体成型打印确保了每个流速球终端的一致性,上下盖间密封无缝连接,防水性极佳,可满足长时段、长距离浸水观测;塑性材料既防水同时保证了GNSS卫星信号接受良好。流速球整体外观为手握式球型设计,手握处位于流速球顶端,内置GNSS天线组件。球体外表面采用对称凹槽设计,方便安装螺丝,密封圈受力均匀;同时增大水流阻力,使球体与水流速度更加接近。半球中下部配有浮球配重块,防止流速球终端侧翻和倾覆,保证GNSS天线工作过程中始终朝上,有效接受卫星信号。

1.2.2 供电设计

系统工作电压介于3.6~4.3V,选用容量为5000mAh可充电锂离子电池为工作电源。即使极端情况下,即工作全程保持数据采集毫秒级、数据传送每秒上一次的工作状态可以连续工作48h之久。机身设计有三个工作指示灯,分别是电源指示灯、GNSS工作指示灯、数据传输指示灯,并以不同的颜色表示不同工作状态,方便技术人员判别系统工作状态。系统采用标准的Mini USB,使用5V/1A充电头及5Pin Micro USB充电线,最快2h可完成亏电至满电充电工作。

1.2.3 GNSS数据采集模块

系统采用了双馈点GNSS天线设计。双馈点天线是两个正交导向的双极,当每个偶极子的接收信号被总结时,在一个信号的90°相位偏移之后,它完美地复制了整个天线的全带宽的循环响应。这大大提高了对GNSS多路径(交叉极化)信号的排斥,因此比单馈点天线的精度高得多。系统采用我国自主的BDS并全面兼容全球主流GNSS系统(GPS、Galileo、GLONASS),可同时接受多颗卫星,与WAAS、EGNOS、MSAS一起增强QZSS、GAGAN和IMES,极大的提高测量精度。可根据需要选用星基、地基增强服务达到厘米级测量精度。

1.3 服务器端设计

系统通信模块将浮球终端数据信息以及状态信息,利用网络传送给云平台(服务器端)。支持国内三大运营商的所有5G,4G,3G,2G频段,保证流速球能够在各种网络环境中能够及时将测量数据上传至中心服务器。服务器端主要利用Python语言结合MySQL数据库以及TCP、UDP协议实现。此部分本文不再展开细述。

服务器端通过分配的用户名和密码进入查看和管理,由于账户名是整个云平台通用,系统固定以电话号码作为用户名,以免重复,方便管理。设计有设备数据、测量记录、设备管理和坐标转换参数4个模块。主页以高德地图为底图显示,菜单栏等以淡蓝色代表着水,设计简洁明了,直观方便,操作简单。

设备数据模块可查阅所有设备名称(代码)、设备编码、在线状态、最后在线时间、设备电压以及简易操作。测量记录模块可查看每个流速球的详细测量信息:开始与结束时间,经纬度,海拔,速度,预警速度,方向,预计测量精度,卫星数量等。点击操作即可以图表的方式查看流速球的速度数据、基于地图底图的流速球轨迹回放查看、所有数据下载导出。设备管理模块对流速球终端名称代码、上报频率、工作状态进行修改与监管。坐标转换参数模块对流速球采集的数据设置椭球参数、坐标转换7参数(旋转、缩放和平移),可转换不同坐标系统下的各类坐标数据,如经纬度坐标、CGCS2000坐标以及地方坐标系统坐标。



图3 服务器端(设备数据)功能展示
Fig.3 Function module display of server-side

1.4 手机APP端设计

系统基于Android系统开发应用程序。Android是Google公司基于Linux平台的一款开源手机操作系统,包括操作系统、用户界面和应用程序。本系统采用服务器+多(节点)用户端模式,用户采用Android JAVA开发,利用自身数据库SQLite实现数据存储,利用手机卡通讯

完成网络通信。编译完成之后打包生成APK文件,在Android手机上可以直接安装^[15-17]。在用户手机上设计控制界面,操作方便灵活,具体架构图如图4所示。

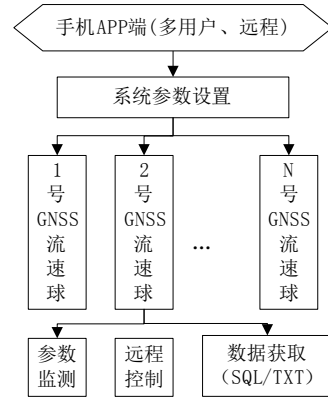


图4 手机APP端结构
Fig.4 Framework map of mobile APP

经服务器后台授权,用户可以通过本机手机一键登录APP,进入首页,从首页可以快捷的进入到各个主功能中。手机APP端集成了服务器端的数据查看、数据导出、轨迹回放等强大功能,可以实现同时多个用户对多个流速球的远程监测、数据实时查看和存储功能。APP增添有流速球终端的测量操作功能,用户进入“开始测量”功能后,可以查看当前正在进行的测量项目。点击“新增测量”按钮,在下一步中选择要参与测量的设备,然后输入测量名称,预警速度和风向等信息,进入测量状态。测量完成以后,点击“停止测量”按钮,则完成一次测量。

2 试验与精度分析

系统研制成型样机1号、2号选择了重庆市主城区长江寸滩河段、永川区朱沱河段、四川宜宾金沙江干流河段进行了实际环境试验测试,对工作时长、工作环境(流速、天气、网络)、测量精度、防水等指标进行分析。

2.1 基础测试

试验同时采用高精度厘米级差分GNSS进行同步观测,作为测量精度比对分析依据。测试环境涵盖了晴、雨和阴各类天气;选择了重庆和四川两地的移动、联通和电信网络信号进行数据通讯发射与接受;三个河段流速最小值0.48 m/s,最大值5.20 m/s,浪高最大达0.3 m。测试时长最大值超过50 h。

从表1中可以看出,测试样机能够满足不同天气环境、不同流速、不同涌浪状态下的测验工作,工作状态下的防水性能良好。充满电量单次观测时长均超过48 h,达到设计的预期效果。

表1 天气、温度、流速、涌浪、时长、防水测试统计

Table1 Test data of temperature, current velocity, duration, waterproof

	寸滩河段	朱沱河段	宜宾河段	测试样机	测试情况
天气	阴	阴/中雨	晴	1号/2号	正常
温度/°C	14~20	6~10	18~36	1号/2号	正常
流速/m·s ⁻¹	0.48~2.56	2.13~5.20	1.37~3.89	1号/2号	正常
浪涌/m	0~0.1	0~0.3	0~0.19	1号/2号	正常
时长/h	2.5/2	52.8/51.5	55/54.5	1号/2号	正常
防水	是	是	是	1号/2号	良好

注:时长指满电状态下的单次工作(累计)时长。寸滩河段只观测了3 km河段,非最大值。

2.2 通讯测试

3个河段试验结果显示,流速球终端响应时间均在100 ms以内,数据发送成功率最低为99.99%,服务端用户段接受成功率100%,丢包率小于0.1%,误码率均为0%。各项通讯指标在省市交界处有微小影响,表现良好。测流系统不受时间地域限制,用户可以在任何具备网络覆盖的地方从手机APP或电脑端上实时浏览并获取数据,能满足不同作业环境需求,完全达到系统设计的要求。

表2 通讯测试结果统计

Table2 The communication testing results

	寸滩河段	朱沱河段	宜宾河段	测试网络
测试时长/min	50	95	181	
响应时间/ms	10~60	35~80	20~70	重庆移动/联通/电信
发送成功率	100%	99.99%	100%	四川移动/联通/电信
接受成功率	100%	100%	100%	
丢包率	0%	0.005%	0.006%	
误码率	0%	0%	0%	

2.3 流速测试

试验同步采用厘米级差分GNSS测量设备跟踪观测作为数据比对的基准值。样机1号、2号和差分GNSS分别试验观测并计算测流系统的测量误差。部分测试数据结果与误差分布统计见表3。

多次试验表明,最大距离测量误差在2.7~6.5m之间,基本与GNSS定位芯片的精度(2.5MRMS)吻合;平均流速最大差值0.011,相对误差在0.09%~0.35%;最大流速差值0.021,相对误差在0.14%~0.79%。测试数据显示完全满足水文应急监测的精度需求。试验对比还发现,流速球系统总体入水深度过浅,水流流态复杂水域时与实际走势不一致,在保持现有外观不变状态增加配重块重量加大入水深度后得到明显改善。

表3 数据测试结果统计

Table3 The data testing results

测试河段	试验距离/km	仪器设备(代码)	平均流速/(m/s)	最大流速/(m/s)	最大距离差/m
寸滩河段	3.1	样机1号(9241)	2.035	2.380	6.5
		差分GNSS(3050)	2.033	2.399	
	2.9	样机2号(9242)	1.884	2.063	2.4
		差分GNSS(3050)	1.890	2.060	
朱沱河段	5.9	样机1号(9241)	4.839	5.199	2.7
		差分GNSS(3050)	4.842	5.204	
	6.2	样机2号(9242)	3.107	4.923	3.5
		差分GNSS(3050)	3.118	4.944	

3 结论

本文提出了适用于水文应急监测的GNSS测流系统——流速球系统,在完成系统样机的设计与制作后对该系统的防水、通讯、测量精度通过3处实地水域进行测试,极大还原模拟了水文应急的各类复杂条件,进行了设计论证与数据精度检验,结果表明:

(1)基于3D打印技术的终端智造,外观设计大小适中,方便运输携带,防水性能极佳,可满足长时间连续观测。

(2)GNSS模块能够兼容BDS等主流GPS卫星星座,双馈点GNSS天线设计能较好保证恶劣条件下的观测精度。

(3)基于移动通信信号的传输手段和手机移动端的多终端设计,和网页式服务器端界面,可实现多个用户对多个测流终端的远程监测、数据实时查看和存储。还可根据特殊需要制定不同的数据输出模块,第一时间获取最终结果数据。

试验数据表明了系统的各项精度指标能够满足水位应急监测的需求。除满足水文应急监测,该GNSS流速球系统还可以运用航道交通、水利工程等需要进行水面流速测验的相关需求中。此外,考虑到水文应急监测作用环境的恶劣复杂,GNSS流速球终端回收再利用的概率较小,需要进一步降低GNSS流速球制造成本。

参考文献:

[1] 陈松生, 林伟. 唐家山堰塞湖水文应急监测[J]. 人民长江, 2008, 39(22):32-35.
 [2] 刘艳丽, 张艳红, 张晓菊. 突发性环境污染事故中应急监测问题[J]. (下转第101页)