

基于超导重力仪数据采集系统的智能补数与安全加密

修宏祥^{1,2,3} 陈玉秀^{1,2,3}

XIU Hongxiang CHEN Yuxiu

摘要

超导重力仪长时间测量记录重力信号，为我国精密测绘与地球动力学研究提供强大数据支撑，数据采集系统通过串口实时采集超导重力仪的各项监测数值。针对系统数据缺失与传输安全问题，文章使用 C++ 语言编写缺数智能识别与批量补数程序，同时加入 SSL 加密传输机制。该技术在全国部分台站应用运行良好，数据完整率、准确率与安全性均得到保障。

关键词

智能补数；数据安全加密；超导重力仪；串口采集；C++ 语言

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.03.033

0 引言

超导重力仪作为一种对重力场变化极为灵敏的相对重力仪，因其连续性好、观测精度高、性能稳定、漂移小等优势被广泛用于地球重力监测与地震监测场景中^[1]，如图 1 所示。



图 1 超导重力仪设备

超导重力仪数据采集系统针对超导重力仪设计开发，主要包含通信配置、实时监测、数据存储、仪器监控与数据转发模块。在通信配置与实时监测板块，系统与超导重力仪间采用 RS232 串口通信，实时截取设备串口输出的数据流字符串，显示多个通道数据值。数据存储中，系统采集 21 通道每秒监测数值，将记录的超导重力仪实时数据存储为 .tsf 格式，每份文件记录 24 h 内 86 400 条数据。仪器监控模块中，通过摄像头、空气质量检测仪等设备实时监测超导重力仪的

工作环境。数据转发模块内，通过地震系统内网，接受远程端发来的数据获取指令，将系统本地存储的数据流转发给远程端读取^[2]。由于超导重力仪数据采集系统普遍布设于全国各地台站内，部分台站设立于无人值守的山洞内，运行过程中难免因为断电、串口线破损、UPS 更换、主机重启、死机等原因造成存储数据缺数现象，而超导重力仪内记录的原始重力变化数据十分珍贵，保证数据的连续性与完整性，对地球物理研究具有重大意义^[3]。传统重力仪数据采集系统进行网络化改造时，在现场需要部署一个硬件式网络数据采集器，每台重力仪都需要唯一的一台网络数据采集器与之对应，部署过程麻烦。网络数据采集器相当于一个数据存储转发服务器，在地震系统内部使用时需要将网络数据采集器连入地震系统内网，远程使用者可通过地震内网使用远程软件或网页来获取网络传输的数据。网络数据采集器通常通过 NI 数据采集卡制作，其价格昂贵且使用及维修成本较高。当网络数据采集器损坏时，重力仪的数据无法进行实时采集、存储及网络传输，且需要专业的硬件工程师进行维修，会花费大量的时间，严重影响重力仪的实时性传输。考虑到这一方面，本文就前期准备工作开发了现场端软件来代替传统硬件数据采集器，借助超导重力仪的现场端计算机，通过软件安装进行部署，使用起来更灵活，部署更方便。当现场端主机出现数据采集及传输故障时，仅可通过更换现场端主机或者重新安装软件便可恢复运行，节省了维修时间，保证重力数据传输能够在短时间内恢复。

因此，本文结合全国各地震台站的要求和刚需，针对数据缺数与传输安全问题，在 VS2016 开发环境下，使用 C++ 语言编写缺数智能识别与批量补数程序，在远程设备数据传输中加入 SSL 加密传送机制，实现数据断数统计、补数自动替换存储并安全更新上传远程服务器功能。

1. 中国地震局地震研究所 湖北武汉 430071
2. 武汉地震科学仪器研究院有限公司 湖北武汉 430071
3. 湖北省重大工程地震监测与预警处置工程技术研究中心 湖北武汉 430071

1 数据采集与文件存储

1.1 串口采集

超导重力仪采集系统通过 RS232 连接设备串口采集实时数据流,系统内具备有初始化串口信息设置功能,设置信息包含串口数据位、校验位、停止位、波特率和端口号信息,通过设置符合设备接入要求后,打开端口每秒采集超导重力仪输出的实时数据,其中每条数据原始为 ASCII 数据流,解码后格式为:

“2024 09 24 16 20 52 0.355 478 999.415 35 -0.008 91 008 974 0.112 87 -0.127 41 0.452 31 0.21 485 1.25 751 2.656 69 3.214 86 22.145 58 4.225 65 1.235 89 4.365 89 87.254 75 35.259 75 45.225 75 0.014 58 0.22 542 20.897 41 2 147 883 675”

数据流字段具体含义在 1.2 节数据文件存储中详细介绍。系统内数据采集和串口设置流程如图 2 所示。

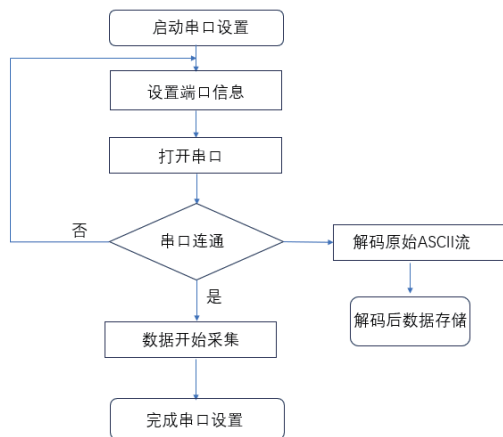


图2 数据采集和串口设置

1.2 数据文件存储

超导重力仪观测数据通常以串口形式输出,时间间隔为 1 s,串口输出 21 个通道数据,通道编号为 data1、data2、…、data21,每个通道代表不同实际含义,输出包含仪器测量实时重力电压值、仪器测量实时大气压力值等 21 个数值信息,其输出任意一条观测数据格式固定为包含 264 个字符组成的字符串形式,每条输出的 21 个通道字符数据格式为: [YYYY][sp][MM][sp][DD][H or HH][sp][M or MM][sp][S or SS][sp][sp][sp][sp][DATA1][sp][sp][sp][sp][DATA2]……[sp][sp][sp][sp][DATA21][cr][lf]。数据中 [sp] 代表为空格、[DATA] 代表 21 个通道的数值信息、[YYYY] 代表年份、[MM] 代表月份、[DD] 代表日期,而 [H or HH][M or MM][S or SS] 代表 h、min 和 s 信息。

系统数据存储为日志文件,数据流来源为串口采集的超导重力仪实时监测数据。系统存储日志文件时运用定时

器 Timer, 在开始存储时刻开启第一个定时事件 Timer1, 程序检测对应路径下是否存在当日文件字段命名的日志 .tsf 文档,若仅检测为存在昨日文档,则创建日期为今日文件,即日志文件更换存储操作,在 .tsf 文件创建成功后,系统内开启下一个定时器事件计时。日志文件存储流程图如图 3 所示。

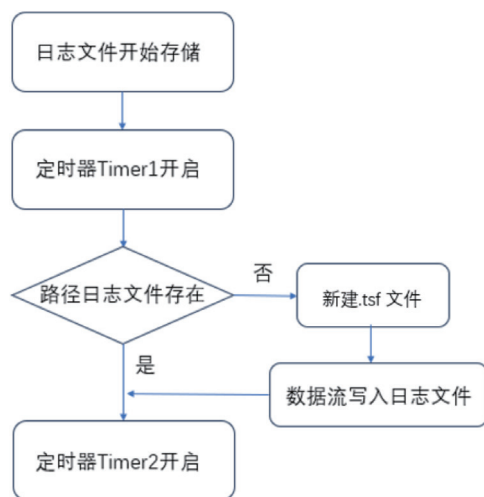


图3 .tsf 日志文件存储

2 智能补数与安全加密

2.1 算法设计

由于超导重力仪数据采集系统布设环境等因素,在运行过程中难免因为断电、串口线破损、UPS 更换、主机重启、死机等原因造成存储数据缺数现象,基于 C++ 语言的缺数智能识别与自动补数算法目标为消除因系统环境影响导致数据丢失问题,确保超导重力仪运行正常情况下,数据的完整与连续性。智能补数算法过程如下,流程图如图 4 所示。

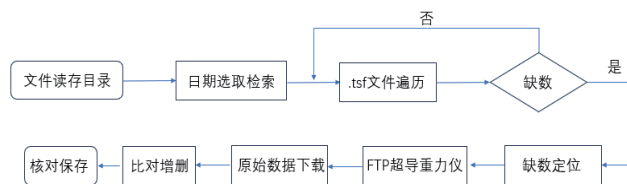


图4 自动补数流程图

(1) 首先定义函数文件读取目录,输入读取数据文件夹目录和保存数据文件夹目录(假定为 D:\Runtime\iGravData),相应代码 filepath='D:\Runtime\iGravData'; savepath='D:\Runtime\iGravData'。

(2) 调用 DateChoose 函数设置输入参数,即缺数文件检索开始日期和结束日期(开始日期为系统内串口联通时刻起,保证当超导重力仪数据接入后即开始智能补数检测,结束日期默认为系统运行即不结束)。

(3) 缺数 tsf 文件遍历。遍历本地已存 .tsf 文件,系统

本地存储单个文件是否大小为 86 400 条数据，若小于对应数据量，则确定确属文件名及所在位置。

(4) 缺数定位。调用 LoseFind 函数，相应代码 fopen (" 遍历到文件路径 ", "w"); fseek 函数定位每一行数据开头，fread 具体数据，判断是否为 [YYYY][sp][MM][sp][DD][H or HH][sp][M or MM][sp][S or SS] 格式，且距离上一行数据事件间隔 1 s，若函数 return 数值 0，则代表找到缺数定位点。

(5) 读取超导重力仪内原始数据并下载。调用 iGrav_Download 函数，利用程序执行 FTP 指令，连接超导重力仪，文件名查找得到上一步中遍历得到的缺数文件，下载文件。

(6) 从超导重力仪下载的原始数据，通过 ftp 传输读取保存至系统本地对应文件夹 D:\Runtime\iGravData 中，调用 Replace_Save 函数。

(7) 删除操作。由于已有新的对应时间点原始完整文件生成，即删除缺数 tsf 文件遍历操作中得到的缺数文件名。

(8) 比较核对操作。重新对系统数据文件夹内所有文件遍历，判别已完整存储文件内数据是否为 86 400 条，且每一行开头保持正确格式访问。

2.2 传输安全加密

在智能补数与缺数定位算法中，当系统识别到本地保存 .tsf 文件存在缺数现象时，会连接并登录 FTP 服务器从超导重力仪数采内下载原始仪器数据，并进行对比分析补数。而传统 FTP 服务器仅需输入服务器地址、用户名、密码和对应开放端口号即可读取数据^[4]，本系统将 SSL 加密连接方式自动融合入类属性中，并限制 FTP 登录用户，加强数据传输过程安全性。

系统开发过程通过调整 ServicePointmanager 类中 ServerCertificateValidationcallback 属性^[5]，保证与 FTP 连接对象间能随机建立安全链接证书。与此同时，FTPWebrequest 对象实例中属性 Usessl 应设置为 true，以保证客户端得到使用 SSL 协议的指示。

系统中 FTP 登录模块通过限制 FTP 用户目录方式增强传输安全性，可通过程序修改 conf 配置文件 VSftp，具体操作为 chroot_LIST_enable=yes; chroot_LIST_file=/etc/vsftpd/chroot_LIST。

3 软件运行与实验分析

3.1 软件运行

智能补数与安全加密程序在微软 VS2016 环境下使用 C++ 语言开发，集成于超导重力仪数据采集系统内，程序功能页面如图 5 所示。包含超导重力仪 ID 输入、台站信息填

写、补数时间筛选、文件夹路径设置以及远程连接登录 FTP 的 IP、用户名和密码输入功能。由于程序内加入 SSL 加密传输机制，且对 FTP 用户目录加以限制，可有效防止其他用户或匿名用户访问设备数据。

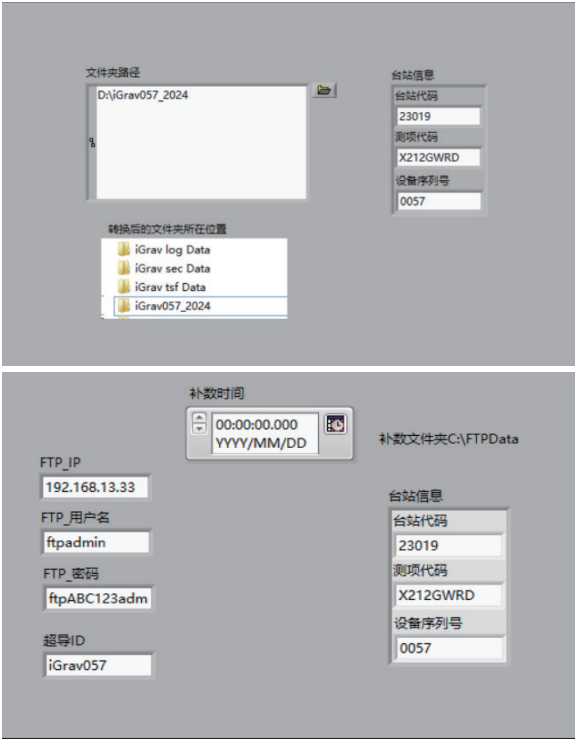


图 5 补数设置页面

3.2 实验分析

数据选取安装在吉林省白山市抚松监测台站内超导重力仪数据采集系统 2024 年 7 月和 8 月完整数据进行对比实验，其中 2024 年 8 月数据采集系统内集成智能补数与安全加密程序，实验从数据完整性与准确性两个维度展开研究与分析，实验结果如图 6、7 所示。

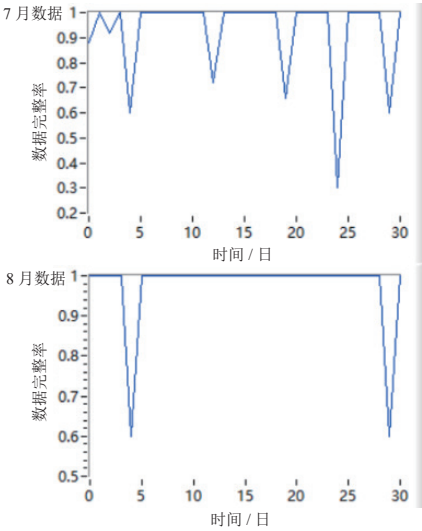


图 6 数据完整率结果

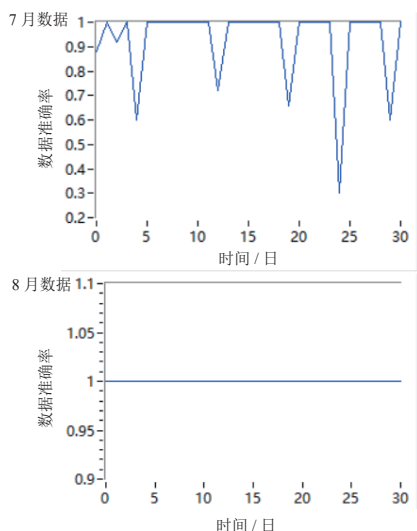


图7 数据准确性结果

在数据完整率实验中,数据完整率计算方式为当日采集系统本地存储数据量大小/超导重力仪仪器内记录数据量大小。系统在未加入智能补数程序前,日志文件显示当月数据采集系统存在重启2次、断电5次情况,导致系统内存在7天数据存储缺失现象。系统在集成智能补数程序后,8月仅存在两次数据缺失情况,且查看系统日志文件显示月内存在重启、断电等故障5次,有效减少数据缺失率,而两次文件记录不完整原因为超导重力仪仪器内部本身断电,本身记录即不完整。

在数据准确性实验中,准确率代表采集系统本地存储数据与超导重力仪仪器内记录数据是否完全一致,计算方式为内容一致数据量/超导重力仪仪器内记录数据量。加入智能补数程序后,当月数据准确率保持在完全一致,而系统在未加入智能补数程序前,由于存在缺数现象导致出现多次准确率低于1现象。

3.3 讨论

超导重力仪智能化网络数据采集控制系统安装布设于地震监测台站本地,可接收台站所有已安装设备的实时传输数据,并进行不同类型数据备份存储;且系统具备多流数据传输能力,针对非标准仪器可进行通信协议转换,使仪器数据传输符合地震行业规范要求;此外系统配备多类型动环监测传感器,实现台站电力系统监控、温湿度监测、人员入侵监测等,并可扩展不同类型监控手段,满足智能化地震台站的应用需求;系统具备地震预警信息接收能力,破坏性地震发生后,可对本地监测数据进行预处理,震后进行快速参数产出并发布,提升震后应急处置时效性;系统具备地震台站仪器状态监控能力,通过实时数据分析发现台站仪器出现故障时,可将故障信息快速推送至大数据平台,缩短运维时间。

4 结论

超导重力仪数据采集系统智能补数与安全加密的自动处理程序提高原始数据存储完整率和准确率,同时减少人工操作步骤节省大量人力、物力。目前已在全国多处无人值守台站内运行使用,未来将针对不同环境下造成数据存储缺失问题展开深度学习包括生成对抗网络、循环神经网络等方法研究。智能补数与安全加密程序方法对有相关需求的人员具有一定参考与借鉴价值,可扩展在其他国家地震台站或相关领域推广使用。

参考文献:

- [1] 贾鲁,王世忠,王庆宾,等.基于Android系统的重力仪数据采集及计算软件开发[J].测绘科学,2017,42(3):132-136.
- [2] 黄金刚,张仰辉,郭林旺.测震台网数据传输补数技术[J].地震地磁观测与研究,2017,38(3):209-213.
- [3] 刘海英,杜晓通.Measurement Studio for Visual C++环境下小型工业监控软件的开发[J].工业控制计算机,2014(11):23-24.
- [4] 彭秀萍.基于C语言的加密解密软件的实现[J].成都大学学报(自然科学版),2011,30(4):328-330.
- [5] 张英琦.地球自由振荡模型检测与参数估计研究[D].淄博:山东理工大学,2024.

【作者简介】

修宏祥(1997—),男,湖北武汉人,硕士研究生,助理工程师,研究方向:软件工程技术研发,email:824373212@qq.com。

陈玉秀(1984—),通信作者(email:chenyuxiu2005@163.com),女,广东清远人,硕士,工程师,研究方向:地震工程与地震预警、软件开发。

(收稿日期:2024-11-13)