

doi: 10.7690/bgzd.2026.01.005

基于北斗 RTK 与自组网的舟桥运动状态实时监测系统

鞠进军, 陈俞龙, 张 颖, 汪 辉

(陆军工程大学训练基地, 江苏 徐州 221004)

摘要: 为解决舟桥装备架设过程中存在的舟桥单元数量多、作业流程复杂、作业态势不明、人工指挥效率低等问题, 基于北斗 RTK 技术和无线自组网技术, 研制一套舟桥运动状态实时监测系统。构建系统架构, 分析数据流程, 对硬件系统、态势显示软件进行设计与实现。以某型舟桥装备在长江某段进行测试, 结果表明: 与传统架设方式相比, 应用该系统辅助舟桥架设的时间缩短了 49.15%, 能够实现厘米级高精度定位, 有效提高了舟桥架设指挥调度的效率。

关键词: 舟桥; 高精度定位; 北斗 RTK; 自组网; 态势显示

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

Real-time Monitoring System of Pontoon Bridge Movement Based on Beidou RTK and Ad Hoc Network

Ju Jinjun, Chen Yulong, Zhang Ying, Wang Hui

(Training Base, Army Engineering University of PLA, Xuzhou 221004, China)

Abstract: In order to solve the problems of large number of pontoon bridge units, complex operation process, unclear operation situation and low efficiency of manual command in the process of pontoon bridge equipment erection, a real-time monitoring system for pontoon bridge motion state is developed based on Beidou RTK technology and wireless ad hoc network technology. Construct the system architecture, analyze the data flow, design and implement the hardware system and situation display software. A certain type of pontoon bridge equipment was tested in a certain section of the Yangtze River, and the results show that compared with the traditional erection mode, the time of pontoon bridge erection assisted by the system is shortened by 49.15%, and the centimeter-level high-precision positioning can be realized, which effectively improves the efficiency of pontoon bridge erection command and dispatch.

Keywords: pontoon bridge; high-precision positioning; Beidou RTK; ad hoc network; situation display

0 引言

舟桥装备是陆军工程装备的重要组成部分, 架设速度快、通载能力强, 为我军克服长江、黄河等大中型江河障碍提供了有力保障。舟桥架设需要舟桥兵在各种复杂野外条件下观察估判舟桥各桥节位置、运动状态才能快速完成栈桥落地、搭岸、连接、闭塞等环节。目前, 舟桥架设主要存在以下问题:

1) 舟桥单元数量多, 作业流程复杂。舟桥架设过程涉及装备数量多, 架设过程复杂, 难以全流程精确监测舟桥单元状态。

2) 作业态势不明。舟桥架设作业区域广, 作业环境复杂, 存在大雾等恶劣天气条件和夜晚等视觉较差环境条件作业情况, 作业态势掌握难, 影响部队舟桥架设能力。

3) 人工指挥效率低。舟桥运动状态获取主要依靠人力观察等手段, 自动化程度低且精度不高。指

挥员难以准确掌握舟桥单元运动状态, 指挥效率低。上述问题影响舟桥架设效率, 限制舟桥架设时机, 严重影响渡河保障效能发挥。目前尚无有效的解决手段。

北斗卫星导航系统是我国自行研制的一套全球定位系统, 军事应用安全性高^[1-2]。实时定位技术(RTK)能够实现实时高效厘米级定位, 是卫星导航定位的重要应用^[3-5], 被广泛应用于测绘、监测、导航等民用领域^[6-9]。

针对舟桥单元数量多、作业复杂问题, 拟采用北斗 RTK 技术获取各舟桥单元的运动状态数据; 针对作业态势不明、人工指挥效率低的问题, 拟采用无线自组网技术、GIS 技术^[10]实时传输和显示舟桥单元作业态势。集成北斗 RTK 和无线自组网, 设计一种舟桥运动状态监测系统, 以提高舟桥架设指挥调度能力。

收稿日期: 2024-11-11; 修回日期: 2024-12-12

第一作者: 鞠进军(1978—), 男, 山东人, 硕士。

1 系统设计

1.1 系统架构

根据舟桥装备作业流程及特点，区分采集层、网络层、存储层、应用层进行设计，系统总体架构如图 1 所示。

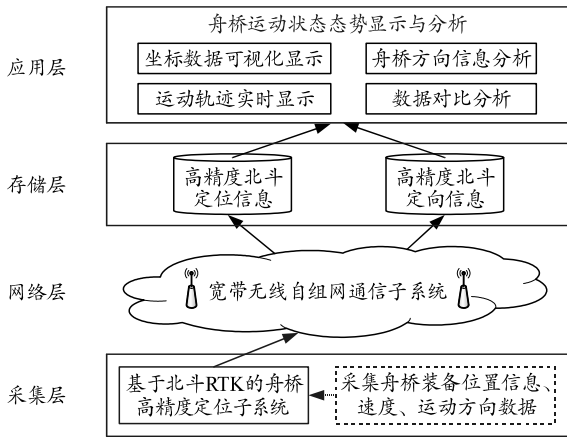


图 1 基于北斗定位的舟桥运动状态采集系统

1) 采集层。由基于北斗 RTK 的高精度定位系统构成,通过实时动态定位技术实现舟桥位置信息、速度、运动方向数据的自动精准采集。主要应用于采集 2 个作业场景数据：① 漕渡门桥渡送装备，采集漕渡门桥渡送装备的速度、里程、时间以及运动轨迹等信息；② 浮桥架设作业，采集各门桥引入速度、时间、里程以及运动轨迹等信息。

2) 网络层。内嵌有数据传输模块，采用无线自组网技术实现舟桥高精度定位定向数据的实时传输。无线自组网包括若干个自组网子节点，每组自组网子节点均具备路由和主机 2 种功能属性，具有较强的可扩展性和自组织性，是覆盖范围广、鲁棒性强的无线通信网络，适合机动性强的舟桥位置信息通信。

3) 存储层。存储高精度舟桥北斗位置方向信息。

4) 应用层。实现舟桥运动状态数据态势显示，将通过无线自组网回传的舟桥实时运动状态数据可视化显示出来，主要包括舟桥单元运动轨迹实时显示、运动方向信息、数据对比分析等。

1.2 系统数据流程

在采集层，利用北斗定位终端实时采集各舟桥单元坐标数据，经 RTK 差分解算，获取高精度运动状态数据。在网络层，由无线自组网子系统传输至指挥端进行存储。在应用层由态势显示软件实时读取存储层数据，分析处理并可视化显示舟桥单元的速度、方向、里程、位置等运动状态。系统数据流

程如图 2 所示。

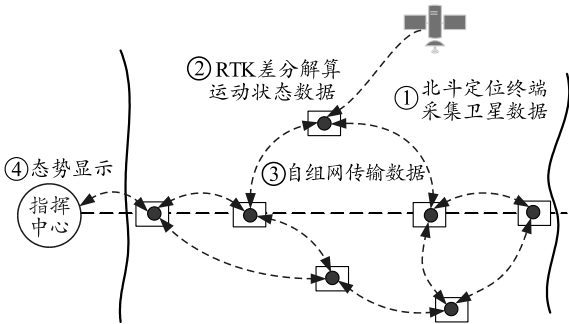


图 2 系统数据流程

2 硬件系统设计与实现

2.1 北斗 RTK 定位子系统

北斗差分定位终端^[11]主要由接收天线、北斗定位定向仪主机(简称主机)、供电设备以及数据接口等部分组成，如图 3 所示。天线用于接收 BD2(B1/B2/B3)信号和差分基站信号，经由射频电缆送到主机，通过基带电路解调之后的得到原始数据流，数据流输送至中央处理器进行定位定向解算，从而得到高精度定位坐标和定向信息，最后通过数据接口、秒脉冲输出口以及测试口实现与外部的数据传输与交互。

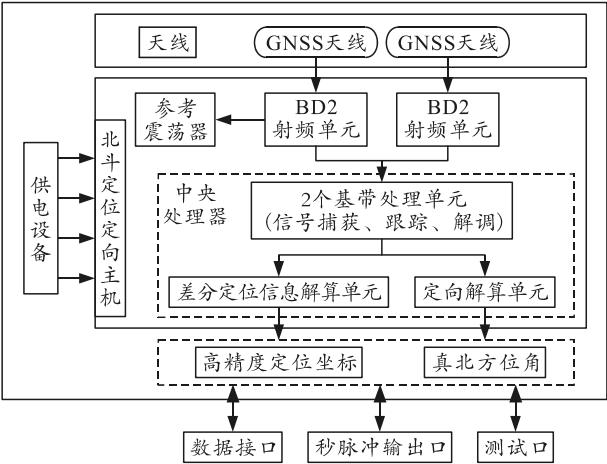


图 3 定位定向数据采集模块系统

2.1.1 接收天线及射频单元设计

为满足舟桥运动方向的测试，接收天线采用 2 组北斗卫星天线，用来同时接收卫星导航系统播发的导航信号，获取 2 组伪距和载波相位测量数据，用于进行定位和定向解算。为提高接收机的灵敏度，射频单元采用 MAX2769 外加一级 LNA 的设计方案。

2.1.2 基带处理单元设计

基带处理单元设计基于 FPGA 完成，其主要负

责卫星信号抗干扰处理功能和导航信号的捕获、跟踪、观测量提取、对外通信、导航电文解调及译码等功能。FPGA 功能设计如图 4 所示。

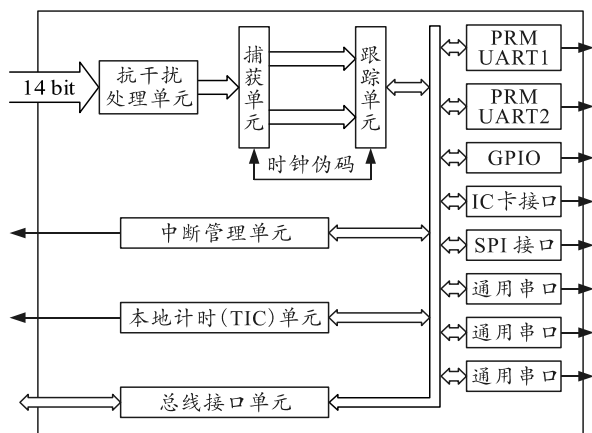


图 4 FPGA 顶层设计功能

FPGA 接收 ADC 单元给出的数字中频信号，对其进行抗窄带干扰处理，再对抗窄带干扰处理完成的信号进行捕获、跟踪、导航电文解调、观测量提取处理。

安装在舟桥装备上的北斗定位设备，常见误差为来自水面的卫星多径信号造成的窄带干扰误差^[12]。在一般反射环境下，多路径效应^[13-14]对测码伪距的影响可达米级，对测相伪距的影响可达厘米级。而水面具有高反射的特点，对定位精度的影响将显著增大，会导致接收的卫星信号失锁和使载波相位观测量产生周跳；因此，在舟桥高精度卫星定位中，多路径误差是不可忽视的。

为克服舟桥定位中存在的窄带干扰，该系统采用基于反加窗和快速傅里叶变换 (fast Fourier transform, FFT) 的频域抑制窄带干扰抑制算法^[15]，如图 5 所示。

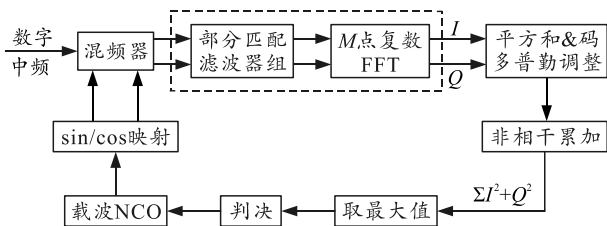


图 5 部分匹配滤波器结合 FFT 捕获方案

对于经过干扰抑制和重叠处理后的数据，采用反加窗算法，重叠处理可采用重叠选择法，无须采用重叠相加，并且重叠比例可灵活选择。

2.1.3 定位定向解算单元设计

该单元主要包括 PVT 定位解算软件和定向解算软件 2 部分。综合考虑该单元对 DSP 芯片外部接

口丰富程度和片内存储空间大小等需求，并结合接收机的低功耗要求选用 TI 的 TMS320C6747 芯片，具有超低功耗、存储空间大等特点，且增加了一个 EMIF 接口实现 SDRAM 外挂。

1) PVT 解算设计。

根据观测量预检测算法对检测数据的有效性，确定有效后对数据进行平滑，当有效观测量数大于第一阈值 (预先设定为 3)，则检测各观测量是否实现同步。若已完成同步，则利用最小二乘解算初步解算 PVT，结合 EKF 滤波方法细化 PVT。若各观测量没有实现同步，则进一步检测是否满足快速定位算法所要求的有效观测量大于 4，若满足则可使用快速定位算法绕过同步过程。PVT 解算完成后，利用后处理算法检测定位结果是否合理，如果出现奇异点，则对 PVT 结果进行平滑。如果有效观测量小于第一阈值，则根据预先设定的第二阈值 (第二阈值与第一阈值差 1，此处取为 4) 检测数据量是否满足要求，满足要求则通过快速定位算法得到有效观测量，否则重新采样。最后利用平滑后的结果更新航向角、卫星方位角和仰角等其他导航信息，以及辅助其他基带算法。其程序核心流程如图 6 所示。

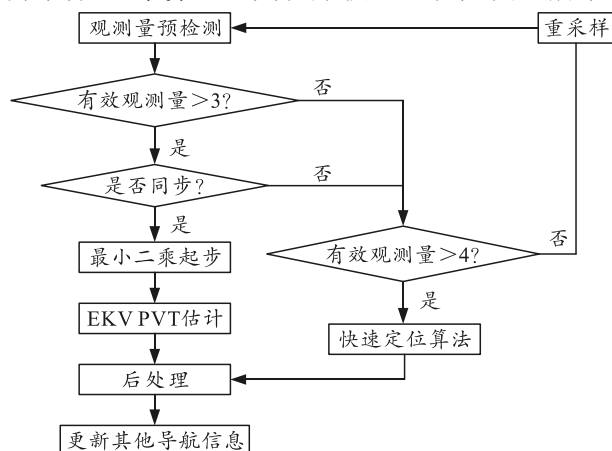


图 6 PVT 解算流程

2) 定向计算设计。

北斗定向是通过高精度测量天线间坐标差来实现的。为消除电离层误差、对流层误差、接收端误差等系统误差，利用载波相位观测量组成双差观测方程：

$$\lambda_i \Phi_{r_{12,d}}^{G_{12}} = a^{G_{12}} \Delta x_{r_{12}} + b^{G_{12}} \Delta y_{r_{12}} + c^{G_{12}} \Delta z_{r_{12}} + M_{\phi, r_{12}}^{G_{12}} + \lambda_i N_{r_{12,d}}^{G_{12}} + \varepsilon_{\phi_d}^{G_{12}} \quad (1)$$

式中： $\Phi_{r_{12,d}}^{G_{12}}$ 为双差观测相位； $(\Delta x_{r_{12}}, \Delta y_{r_{12}}, \Delta z_{r_{12}})$ 为主天线和副天线间相对位置的基线向量； $M_{\phi, r_{12}}^{G_{12}}$ 为多

路径误差； $N_{r_{12,i}}^{G_{12}}$ 为载波相位双差模糊度； $\varepsilon_{\phi,i}^{G_{12}}$ 为观测噪声。求解双差观测方程得基线向量，变换为当地水平坐标系为 (x_l, y_l) ，则舟桥单元运动方向为：

$$\gamma_{aw} = \arctan(x_l/y_l)。(2)$$

2.2 无线自组网通信子系统

应用基于 LTE 的便携式宽带自组网技术，实现随机网络拓扑动态组网，具有动态路由、抗毁性强、灵活性高的特点。任意不同的舟桥单元作为无线自组网的节点，能够直接通信。节点之间的通信根据信号强度、路由规划等信息自动选择最佳的通信路径，从而有效保障各种复杂和特殊环境下的通信可靠。舟桥无线自组网结构如图 7 所示，其中实线表示路由选择路径。

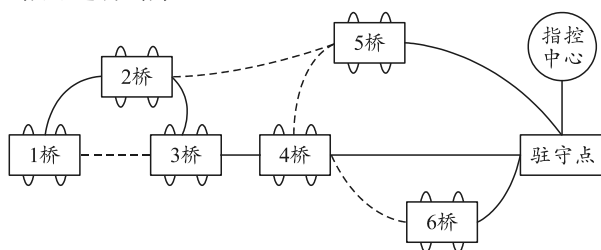


图 7 舟桥无线自组网结构

基于该网络能够实现不少于 60 个节点的网络数据实时交互，不需要做时序预制，降低数据处理难度。

2.3 硬件集成设计

为实现舟桥装备高精度定位和灵活可靠通信，系统将北斗 RTK 定位子系统和自组网通信子系统进行集成，如图 8 所示。

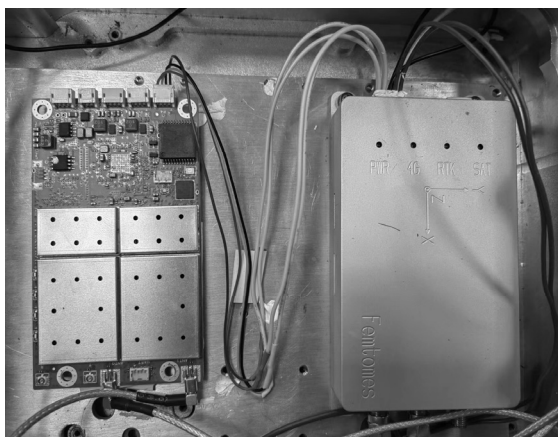


图 8 无线自组网集成北斗定位模块

使用网线连接北斗定位模块与自组网模块网口，采用标准 IP 协议实现两者通信。定位数据报文经网线传输至自组网模块，自组网模块按照

MacInMac 标准进行封装，利用自研梯度路径传输协议选择链路复用值最低的链路传输报文数据，指挥中心组网模块接受数据后，按照标准 IP 协议与指挥中心计算机，最终实现舟桥运动状态数据高精度可靠传输至应用软件。

3 态势显示软件设计与实现

态势显示软件主要用于接收舟桥上北斗定位模块采集的高精度定位定向数据，基于 GIS 地图，将门桥漕渡和舟桥架设的运动过程进行实时态势显示，为远程指控提供可视化的数据支撑。系统包括数据接收、数据处理、轨迹态势显示、地图管理等 4 个子模块。

1) 数据接收子模块。主要依托无线自组网实现舟桥定位定向数据的实时高校接受。

2) 数据处理子模块。对接收的高精度定位定向数据进行处理，通过坐标纠偏算法，去除异常坐标数据和定向数据，保证轨迹的平滑性和有效性。

3) 轨迹态势显示子模块。基于 GIS 地图，将处理后的定位信息实时显示于 2 维地图上，利用定向信息实时控制舟桥模型的运动方向，从而形成平滑的舟桥运动轨迹态势，如图 9 所示。根据舟桥运动轨迹，实时计算舟桥运动的实时速度、实时里程等内容，并进行可视化显示，如图 10 所示。同时，对于已存储的历史轨迹、舟桥装备状态、环境条件等数据，能够进行轨迹态势再现，支持回看、暂停、播放、停止、快进、快退等操作。

4) 地图管理子模块。主要用于试验地域地图的导入、转化，支持地图基本操作，包括放大、缩小、平移、信息查询、检索定位等功能，支持在地图上进行量测操作。



图 9 舟桥运动状态数据

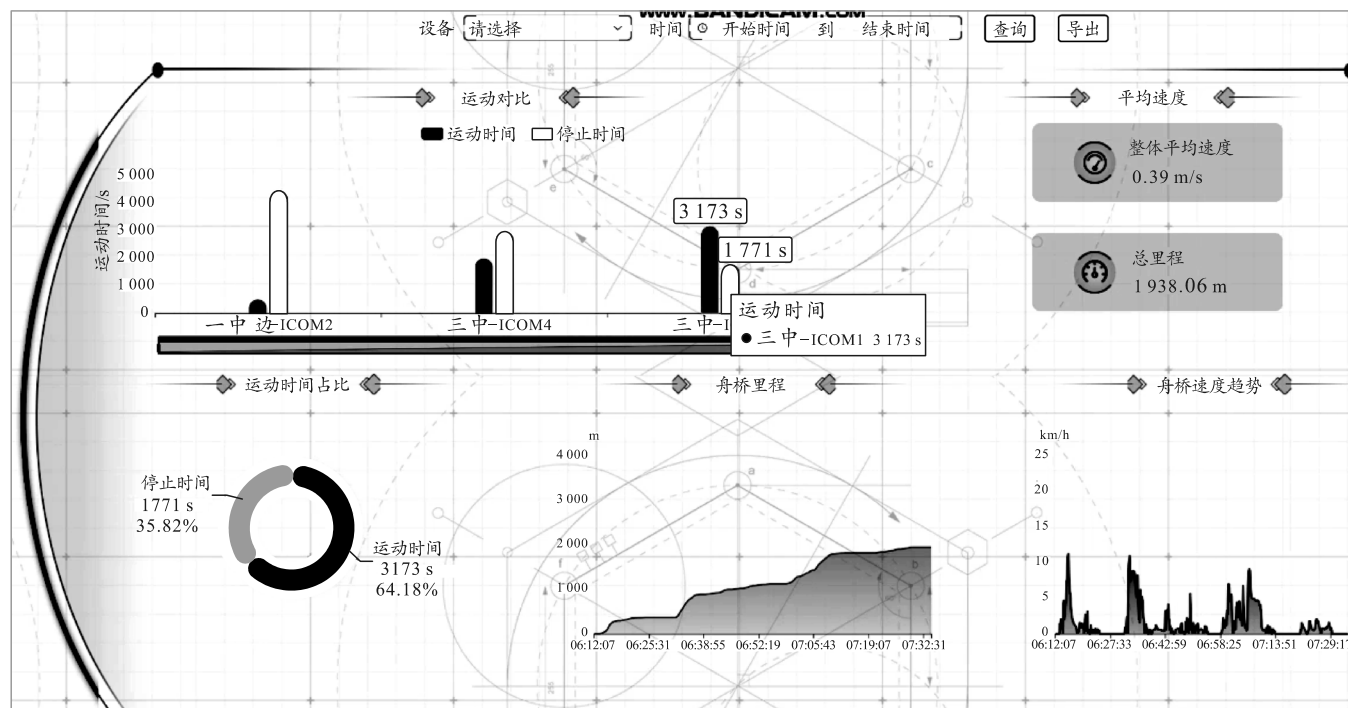


图 10 舟桥单元运动轨迹

4 试验测试

以在长江某千米级江宽段利用某型舟桥装备架设浮桥为基本任务,开展本系统测试。试验动用 15 个架设单元,安装 15 套北斗定位终端,在指挥中心利用态势显示软件,对舟桥运动状态进行实时监测。

通过试验,能够实时采集 15 组浮桥单元位置、方向、速度、里程等运动状态数据。定位平均精度 2 cm、定向平均精度 2 (°)/m 基线、速度平均精度 0.03 m/s。白天架设时,有该系统辅助条件下,浮桥架设时间为 30 min;无该系统辅助下,浮桥架设时间为 59 min。

通过试验表明,该系统具有以下特点:1) 可靠性强。在浮桥架设过程中,每个设备每秒钟发射一组定位定向数据,系统共发送并接收 27 000 组数据,无数据丢失,可靠性强。2) 定位精度高。通过专项试验,该系统定位精度达 1.5 cm,定向精度达 22 (°)/m 基线,速度精度达 0.03 m/s。3) 能大幅提高指挥调度效率。在该系统的辅助下,架设时间由 59 min 缩短至 30 min,架设时间缩短了 49.15%。

5 结论

测试结果表明:笔者研制的舟桥运动状态实时监测系统,可以实现舟桥单元运动状态的实时监测与态势显示,辅助进行指挥调度,具有使用可靠性强、定位精度高、应用范围广等特点,能够有效提

升浮桥架设能力。

参考文献:

- [1] 曹翔. 北斗导航通信技术在船舶互联控制中的应用[J]. 舰船科学技术, 2023, 45(8): 165-168.
- [2] 杨长风, 杨军, 杨君琳, 等. 北斗卫星导航系统规模应用国际化发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(2): 1-12.
- [3] 宋伟, 毛威, 张益泽. GNSS RTK 定位技术的发展历程和机遇[J]. 世界科技研究与发展, 2023, 45(3): 294-305.
- [4] 袁良雄, 王浩, 申志恒. 基于扩展天线的智能手机 GNSS RTK 定位性能研究[J]. 全球定位系统, 2023, 48(3): 77-84.
- [5] 徐丹丹, 卞晓晨. RTK 在不同场景下的定位精度分析[J]. 山西建筑, 2023, 49(6): 185-188.
- [6] 赵华琛, 苏正炼, 王海涛, 等. 基于北斗系统的军用工程机械群位置信息采集与传输系统设计[J]. 制造业自动化, 2022, 44(11): 106-108, 127.
- [7] 王玉春, 上飞飞, 王昆, 等. 基于 RTK 的测量艇实时姿态模型研究及应用[J]. 海洋测绘, 2023, 43(2): 11-14, 64.
- [8] 王剑, 孙凯悦, 姜维, 等. 基于 GPS/BDS 组合的网络 RTK 列车定位方法研究[J]. 铁道学报, 2023, 45(2): 75-83.
- [9] 姜大伟, 张世民, 丁锐. 网络 RTK 在活动构造变形分析中的应用——以川西南大塘断裂为例[J]. 地质科学, 2023, 58(3): 1137-1146.

- [10] 黄伟涛, 谷少鹏. 基于 GIS 的城市更新拆迁系统设计与实现[J]. 地理空间信息, 2023, 21(11): 101-103.
- [11] 潘红娜, 蔡振兴, 张婷婷. 基于物联网通信技术的舰船导航控制系统[J]. 舰船科学技术, 2023, 45(16): 133-136.
- [12] 汪志宁. 北斗卫星高精度定位系统关键技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2021.

- [13] 杨天石. 多路径效应对 GPS 精密定位的影响及消除方法分析[J]. 勘察科学技术, 2006(3): 53-56.
- [14] 汪东, 周宏平, 张慧春, 等. 不同植被 GPS 定位精度影响因素分析及多路径效应[J]. 中南林业科技大学学报, 2014(11): 46-51.
- [15] 谢皓. 北斗卫星短基线定位的多路径效应抑制与周跳探测研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.

(上接第 16 页)

通过图 7 可以发现: MCG-C 管理系统对应的响应曲线分布位置在最上方, 对应响应时间最大, 响应性能最差; 其次为 MCG-B 管理系统, 再次为 MCG-A 管理系统, 最后为 TGT-X 管理系统; 故此, TGT-X 管理系统对应系统响应时间最短, 处理速度最快。

MCG-B 管理系统与 MCG-C 管理系统对应曲线存在局部较差, 但根据较差位置所对应时长与该区段样本数量, 综合分析得到上述性能分析结果。

4 结束语

通过引入云计算技术, 对医院人力资源信息管理系统进行了全局重构优化, 实现了提升系统处理效率, 降低系统维护成本, 优化局部资源处理精准度, 增强系统资源信息存储安全的效果, 为人力资源信息管理及其系统研发, 提供了云计算解决方案。在当前网络环境十分复杂的背景下, 如何保证设计系统的绝对安全成为日后研究目标。当前网络威胁特征主要为攻击手段多样化与攻击模式多变化, 因此要增强系统云端计算层面的数据安全建设, 并且建立或引入完整的具备自我学习能力的数据保护体系, 以确保系统的稳定运行。

参考文献:

- [1] 庄惠雯. 基于云计算的现代企业人力资源信息管理系统设计[J]. 信息记录材料, 2023, 24(4): 143-145.
- [2] 张瀚. 新形势下广电人力资源管理系统的设计分析[J].

- 广播电视信息, 2023, 30(3): 97-99.
- [3] 林宏荣. 基于数据挖掘算法的医院人力资源管理系统设计[J]. 商业观察, 2022(34): 65-68, 72.
- [4] 谢皆欢. 基于云计算的高校人力资源管理系统设计[J]. 信息与电脑(理论版), 2022, 34(18): 248-250.
- [5] 王伟. 基于 JSP 的医院人力资源管理系统的设计与实现研究[J]. 数字通信世界, 2022(9): 29-31.
- [6] 王江鹏. 基于云计算的企业人力资源管理系统设计与开发探讨[J]. 数字通信世界, 2022(7): 37-39.
- [7] 陈梅青. 基于混合架构的企业人力资源管理系统的设计与实现研究[J]. 商业文化, 2022(10): 84-85.
- [8] 朱宝善, 陈光满, 李鹏程, 等. 基于 B/S 模式和 MySQL 的人力资源管理系统设计[J]. 现代电子技术, 2021, 44(14): 65-69.
- [9] 张荣华. 基于面向服务架构的疾控中心人力资源管理系统设计与实现研究[J]. 自动化技术与应用, 2021, 40(1): 159-162.
- [10] 李丽. 以服务理念为核心的高校人力资源管理系统设计[J]. 行政事业资产与财务, 2020(23): 25-26, 24.
- [11] 秦伟. 云计算下的可配置人力资源管理系统设计问题探究[J]. 商讯, 2020(7): 195.
- [12] 张国敏. 私立医院人力资源管理系统的设计与实现研究[J]. 现代国企研究, 2019(4): 177.
- [13] 钟志群. 基于 B/S 架构的高校人力资源管理系统设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(36): 82-83.
- [14] 韩俊男. 云计算下的可配置人力资源管理系统设计分析[J]. 中国管理信息化, 2018, 21(4): 48-49.
- [15] 韩立锋. 云平台下中小企业人力资源管理系统设计[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(4): 43-44.