



耙吸式挖泥船日志系统数据后处理程序开发

殷 达，汪望明，刘 静

(中交广州航道局有限公司，广东 广州 510290)

摘要：对“浚洋1”挖泥船日志系统基础架构进行解析。基于Python设计开发日志系统的数据后处理程序，建立耙吸船运行参数数据库，实现数据的可视化显示和交互功能，提出基于时序和时刻的耙吸船工作状态判定算法。以斯里兰卡科伦坡港口城发展项目(2017—2018年)为例，结合施工日报统计数据对程序算法进行测试，结果表明该算法具有较好的鲁棒性。

关键词：耙吸式挖泥船；服务器；性能监控；数据清洗；可视化

中图分类号：TU 43；U 61

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)01-0165-04

Development of data post-processing program for log system of trailing suction dredger

YIN Da, WANG Wang-ming, LIU Jing

(CCCC Guangzhou Dredging Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: The basic architecture of “Junyang 1” logging system is analyzed. The data post-processing program of the logging system is designed and developed based on Python. The operation parameter database of the suction harrow is established, and the visual display and interactive function of the data are realized. The algorithm based on time sequence and time is put forward to judge the working state of the suction harrowing vessel. Taking the Colombo Port City Development Project in Sri Lanka(2017—2018) as an example, the algorithm of the program was tested with statistical data of daily construction. The results show that the algorithm has good robustness.

Keywords: trailing suction dredger; server; performance monitoring; data cleaning; visualization

耙吸式挖泥船在进行疏浚作业时涉及大量状态参量，需要系统开展长期连续性监测，为业务分析、设备及工艺优化和疏浚智能化提供数据支撑^[1-2]。基于日志系统大数据建立数据集是成本较低的方法。

日志系统负责记录事件、警告和处理数据的过程，记录的信息可用于多种目的，包括：为趋势预测提供历史数据支撑、为理解船机系统运行和故障诊断提供稽查线索、为执行过程分析提供信息等^[3]。

日志系统主要由数据采集、数据记录和逻辑方法3个模块组成。需要记录的数据条目、写入频率、吞吐量及系统可用性等因素，综合决定了

在项目范围内采集模块和记录模块的具体实现方式^[4]。

“浚洋1”为荷兰IHC公司制造的2.1万m³耙吸式挖泥船，现有日志系统缺少配套的后处理程序，难以从海量数据(约100 GB/a)中提取有效信息。

为满足疏浚业务数字化需求，首先对“浚洋1”的日志系统架构进行分析并设计了该日志系统的数据后处理程序；之后，基于处理得到的数据集，提出耙吸式挖泥船工作状态判定算法；最后，以斯里兰卡科伦坡港口城发展项目(2017—2018年)为例，结合施工日报统计数据对程序算法进行测试。

1 日志系统基础架构

1.1 数据采集模块

数据采集模块从 PLC、GPS、陀螺仪等部件处获取信号处理值，向数据记录模块提供所有必要的信息。数据采集模块与数据记录模块采用 SCADA HMI 服务器进行通信。

“浚洋 1” 的数据采集模块主要服务于 3 个系统，包括疏浚控制系统(DCS)、报警和监控系统(AMS)以及能源管理系统(PMS)。图 1 为 DCS 系统中的集成密度流速传感器和混合物测量单元。混合物数字测量单元(MMU001 型)将集成密度流速传感器(63C 型)的输出转换为标准化水平，并将信号传递给模拟/数字远程指示器和自动化系统等设备。

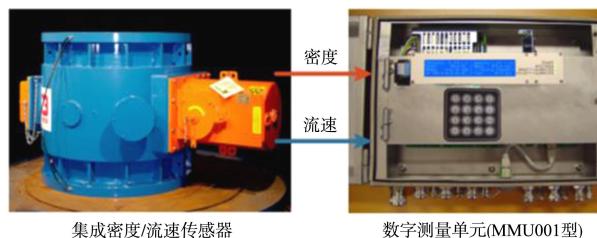


图 1 混合物测量装置

密度变送器采用辐射吸收原理，由钴-60 或铯-137 组成的放射性同位素源的伽马射线辐射管道中的两相/三相混合物，通过辐射接收器检出射线残余量，并通过盖革管或闪烁探测转换成电子脉冲。混合物的流速通过磁感应式流量计基于电磁感应定律检出，并将信号输出到数字测量单元。

1.2 数据记录模块

数据记录模块负责收集和处理数据，每当数据采集模块提供了数据，数据记录模块就会执行数据的存储命令。此外，该模块还负责执行维护任务，清理旧数据和旧文件，维持数据可访问并防止失去响应。

数据记录基于 SQL 日志记录原则，字段信息通过 SCADA HMI 系统读取(图 2)。该系统向数据记录模块提供实际的日志数据，根据已定义的逻辑方法将信息推送到 SQL 服务器。SQL 服务器接收来自 SCADA HMI 应用程序的数据，并负责和处理所有维护和数据导出任务。

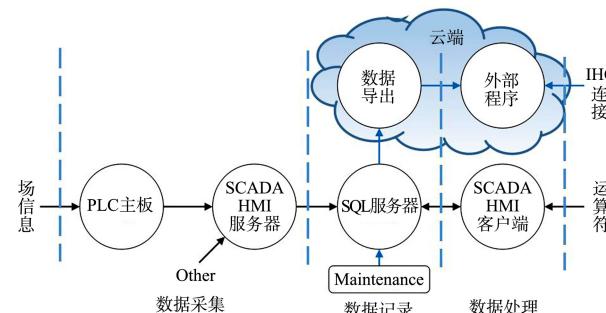


图 2 日志记录

1.3 逻辑方法模块

不同类型的数据需要采用不同类型的日志记录方法，在 SCADA HMI 应用程序内进行配置。根据信号的类型，信号将以固定的时间周期被连续记录或以事件发生时的事件被记录。“浚洋 1” 日志系统的数据类型包括：

- 1) 已定义的进程值 [time based]。根据模拟信号所属的函数组，将这些值划分为数据表，在项目范围内定义每个表的条目数量。为保障主要系统(如 DCS)的性能，基于时间的日志记录被设为每 x 秒 1 条(对“浚洋 1”， $x=3$)。
- 2) 警报 [event based]。系统内产生的所有警报都记录在专用的警报表中。
- 3) 事件 [event based]。应用程序创建的所有 SCADA HMI 事件都记录在一个专用的事件表中。
- 4) 用户动作 [event based]。所有 SCADA HMI 操作员的操作(例如打开阀门)都将记录在一个专用的用户事件表中。

2 数据处理后程序

2.1 日志数据获取

通过将数据记录模块中的数据导出为 *.csv 或 *.dat 等格式的中间文件，可以实现对历史数据的脱机访问。

中间文件是一个包含没有结构化相互关系的记录的文件。相互关系由用户处理、定义和创建。在手动或由维护任务自动删除前，这些文件将一直保存在服务器上。

2.2 文件读取及数据筛选

打开导出的 *.csv 文件，可以观察到实际数

据以空格间隔, 偶尔存在数据的缺失。经测试, 调用 python 3.7 的 Pandas 工具包可实现数据的准确读取和分列:

```
import pandas as pd
try:
    df = pd.read_csv(filename, sep='\\s+', skiprows=[0],
                      header=None)
except ParserError:
    df = pd.read_csv(filename, sep='\\s+', skiprows=[0],
                      header=None, delimiter='\t')
```

从各类别的日志中选取与舶吸式挖泥船疏浚施工作业效率和工艺直接相关的主要参数^[5-6](表 1)。以 dict 格式写入参数表, 根据参数索引查询并构造各类日志的参数构成的子 DataFrame。

表 1 舶吸船日志分析基本参数

日志名称	参数索引	参数
DLM	96	泥舱装舱量(湿砂)/m ³
DOORS	5	大泥门组 1/%
DOORS	7	大泥门组 2/%
PRC	5	排岸浓度/(t·m ⁻³)
PRC	14	排岸流速/(m·s ⁻¹)
PRC	15	左耙挖泥浓度/(t·m ⁻³)
PRC	24	左耙挖泥流速/(m·s ⁻¹)
PRC	25	右耙挖泥浓度/(t·m ⁻³)
PRC	34	右耙挖泥流速/(m·s ⁻¹)
STPM	12	左耙吸入海图深度/m
STPM	44	右耙吸入海图深度/m
DRGPUMPS	26	左水下泵驱动功率/kW
DRGPUMPS	60	右水下泵驱动功率/kW
DRGPUMPS	6	左舱内泵驱动功率/kW
DRGPUMPS	40	右舱内泵驱动功率/kW

2.3 数据可视化

基于 PyQt5 搭建程序显示界面 UI, 用于船舶监测数据的可视化展示及用户交互, 如图 3 所示。



图 3 数据可视化程序界面

程序界面主要包括文件及参数设置、画布区、画布工具栏以及其他按钮。

2.4 船舶工作状态判定算法

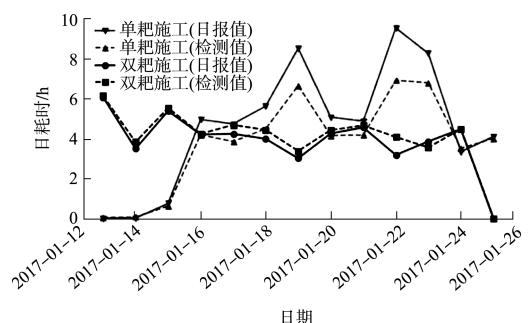
船舶工作状态判定有 2 种思路: 第 1 种基于时序, 第 2 种基于时刻。

1) 基于时序的判定算法以区间数组处理时间戳序列, 需要考虑场景/动作的连续性^[7], 对算法鲁棒性要求较高, 难以形成稳定版本。本文在 beta 0.8.1 版本的程序源码中给出相应的算法实现, 可以按区间输出各状态的起止时刻。

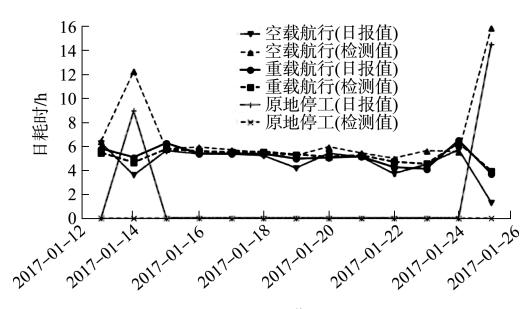
2) 基于时刻的判定算法仅根据当前时刻的特定指标判定场景/动作, 实现较为简单。本文在 beta 0.8.2 版本的程序源码中按优先级从低到高设定了 9 个状态: {待定, 满航, 空航, 右耙, 左耙, 双耙, 虹喷, 舷吹, 直抛}, 按序进行状态列的值的复写。

3 试验测试

选取斯里兰卡科伦坡港口城发展项目作为测试案例, 分别基于船舶日报统计表 (reported) 和船舶工作状态判定算法 (detected) 计算得到 “浚洋 1”每日各状态的持续时长, 如图 4 所示。



a) 单耙/双耙



b) 空航/满航/停工

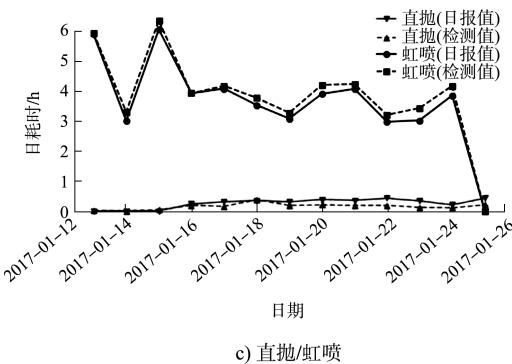


图 4 施工日报数据与算法检测结果的比较

由图 4a) 可知, 在实际施工中单耙作业与双耙作业皆有应用, 在填报船舶生产日报或进行效率测算时应分别统计。将挖泥作业状态进一步细分, 形成单/双耙作业时长的线性组合, 从而提高工程尺度下“挖泥时长-疏浚产量”模型的预测精度。

单双耙挖泥时长数值波动较大, 可能与具体的水下边坡开挖工艺或土质分布相关^[8-9]。由于双耙具有更高的生产效率, 一般更倾向于使用双耙施工。当施工受限或动作无效时, 才会使用单耙。拓宽基槽边线以及扫浅施工是较为典型的双耙无效场景。

对于挖泥作业, 算法中以一个主控参数“左(右)耙挖泥流速”和一个辅控参数“左(右)水下泵驱动功率”进行判定。图 4a) 中基于算法判定得到的单耙施工时长小于日报填报时长, 而双耙施工时长反之, 且单耙下的差值更显著。表明在单耙场景下, 日报填报是以“下耙”动作为记录指针的, 而耙臂起降动作与泵机启闭事件之间存在一定的延迟, 使得日报统计中航行时间被压缩、单耙时间虚增。因此在挖泥作业时长的统计精度上, 本文算法具有一定优势。

图 4b) 显示在测试案例中空航时长与满航时长基本相抵; 而另一项更大尺度的数据宏观统计结果显示空航时长略小于满航时长, 比例约为3:4。

由于缺乏有效的参数作为停工状态下的判据, 本文算法将停工时长也计入了空航时长。这在图 4b) 中对应于14日和25日的空航时长的偏离。一种改进方案是引入船舶定位数据(GPS、AIS等)或动力推进参数^[10-12], 以此作为停工判据。

图 4c) 显示, 算法判定的直抛时长总小于船报时长, 虹喷反之。这与算法中阈值的数值设定有关。

4 结论

1) 基于耙吸式挖泥船“浚洋1”原生日志系统, 开发设计了数据后处理程序。经实践, 浓度、流速、泵机功率等参数可作为基本事件, 用于高效检出船舶在特定时刻下的工作状态。通过引入时序的概念, 可以帮助改善场景、动作的连续性, 使算法判定结果更贴合现场的直观理解。

2) 以科伦坡港口城发展项目为例对程序算法进行了测试。结果表明, 相比传统的统计方法, 本文算法对挖泥状态的判定更为可靠, 但难以有效区分空载航行状态和停工状态, 需要引入空间坐标或动力学状态对算法作进一步优化。

参考文献:

- [1] 王远渊, 刘佳仑, 马枫, 等. 智能船舶远程驾驶控制技术研究现状与趋势[J]. 中国舰船研究, 2021, 16(1): 18-31.
- [2] 郝光杰, 俞孟蕻, 洪国军, 等. 自航式耙吸挖泥船疏浚性能评估系统设计[J]. 水运工程, 2020(12): 212-216, 227.
- [3] 宋冬鹏. 疏浚监控系统原理及校验方法[J]. 水运工程, 2018(S1): 31-35.
- [4] 王瑞涵, 陈辉, 管聰. 基于机器学习的船舶机舱设备状态监测方法[J]. 中国舰船研究, 2021, 16(1): 158-167.
- [5] 于涛. 中大型耙吸船艏吹粉质粘土输泥系统参数动态特性研究[J]. 中国水运, 2020(6): 81-84.
- [6] 叶睿, 许劲松. 基于人工神经网络的船舶油耗模型[J]. 船舶工程, 2016, 38(3): 85-88.
- [7] 岑伯维, 蔡泽祥, 胡凯强, 等. 电力物联网边缘计算终端业务时序逻辑与计算负荷建模方法[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(9): 107-114.
- [8] 葛新兴, 王林, 姜忠, 等. 大型耙吸式挖泥船精挖施工工艺在湄洲湾航道工程中的应用[J]. 水运工程, 2017(2): 186-190.
- [9] 冯志方, 李志新, 罗华锐, 等. 耙吸挖泥船浅窄航道施工技术[J]. 水运工程, 2020(S1): 119-122, 127.
- [10] 袁伟, 俞孟蕻, 丁树友, 等. 耙吸挖泥船动力定位系统模型试验研究[J]. 船舶工程, 2014, 36(03): 81-83+98.
- [11] TANNURI E A, MORISHITA H M. Experimental and numerical evaluation of a typical dynamic positioning system[J]. Applied ocean research, 2006, 28(2): 133-146.
- [12] 蒋帆, 徐海祥, 冯辉, 等. 传感器数据异常下动力定位鲁棒状态估计方法[J]. 大连理工大学学报, 2020, 60(6): 610-618.

(本文编辑 郭雪珍)