



长江航道深水沉排施工检测和管理系统研发*

白明

(长江航道局, 湖北 武汉 430010)

摘要: 软体排施工检测技术是保证软体排的铺设按照设定的标准进行、确认施工质量达到预期效果的关键。为实现软体排的施工智能控制, 构建了沉排施工检测管理系统的总体架构, 并分析了施工检测中的关键技术——图像拼接技术和图像搭接宽度识别技术, 给出了系统的硬件、软件以及数据采集系统等设计要求和方案。

关键词: 航道整治; 图像拼接; 搭接宽度识别; 系统设计

中图分类号: TP 18; U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)12-0010-06

Deepwater mattress construction detection and management system development of Yangtze River waterway

BAI Ming

(Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

Abstract: The detection technology of soft mattress construction is to ensure that the soft mattress is laid in accordance with the standards and confirm whether the construction quality achieves the desired effect. To achieve the intelligent control of the soft mattress construction, we construct the overall architecture of the mattress construction management system, analyze the key technologies of the construction detection, i. e. the image stitching technology and the lap width of image recognition technology, and propose the design requirements and schemes of the system's hardware, software and data acquisition systems.

Keywords: channel regulation; image stitching; lap width recognition; system design

作为长江水运最基础的设施, 长江航道条件的好坏直接影响到沿江经济的发展。长江航道因水沙条件复杂、河床边界不稳定、洲滩易变, 航道条件难以长期稳定, 加之三峡蓄水影响、外部环境复杂, 使得航道整治难度较大^[1]。软体排是由早期的柴排演变而来的, 由于守护效果好、适应河床变形能力强、对周边环境影响小等优点, 已广泛运用于丁坝、顺坝、导流建筑物后的防冲、固滩、护岸等工程中, 它能有效防止水流冲刷和因水流渗透作用而造成河床的局部变形破坏。因此为了保证航道整治工作的顺利开展, 尽快实现

沉排施工的智能化管理^[2], 对深水航道沉排施工检测技术和管理系统的研发具有十分重要的意义。

长江航道软体排铺设施工过程中, 如何保证软体排的铺设按照设定的标准进行, 同时对铺设后的效果进行检测, 确认施工结果是否达到预期效果是软体排施工控制的关键。针对这些关键问题, 沉排施工检测信息化技术从施工在线检测、施工状态判别以及施工远程管理信息技术入手, 提供一个可视、高效的施工控制系统。施工在线检测技术针对软体排施工过程中受天气、水流等因素引起的排体铺设偏移问题, 提供一个自动纠

收稿日期: 2014-11-21

*基金项目: 交通运输部信息化技术研究项目 (2013-364-548-200)

作者简介: 白明 (1967—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程研究。

偏的方法, 确保铺排过程按照标准进行; 施工状态判别技术着重于铺设效果的检测, 利用图像拼接、分割等技术^[3-4], 对铺排效果进行检测, 保证软体排铺设达到预期效果; 施工远程管理信息利用网络通信技术^[5], 实时将施工过程的各种情况发送到管理人员的监控客户端, 为施工管理人员提供一个便利、高效、实时的管理窗口。

1 沉排施工检测管理系统总体架构

沉排施工检测管理系统由两大部分组成: 深水沉排施工信息采集系统 (船载端)、沉排施工综合信息管理系统 (管理中心)。其中, 深水沉排施工信息采集系统 (船载端) 既可自成一体、独立使用, 亦可与沉排施工综合信息管理系统 (管理中心) 联合使用, 构成一个有机整体。

深水沉排施工信息采集系统 (船载端) 主要实现现场信息采集, 包括: 船位、水深、水下沉排声纳扫描信息及承载声纳的飞鱼姿态信息等。同时, 还实现声纳数据成像及成像增强、软体排定位判别及由此形成的软体排收缩、搭接等状态判别。沉排施工综合信息管理系统 (管理中心) 包括施工单位管理、施工项目管理、施工进度管理、施工质量管理。从软体排设计、铺设、施工后期检测等进行全过程的跟踪管理, 并为每一个施工企业建立信誉档案。

系统的技术架构分为 4 层, 由下至上依次为数据采集层、数据管理层、核心业务层和应用层。其总体架构见图 1。

2 沉排施工检测关键技术

沉排施工检测技术旨在有效监控水下铺排施工质量, 一旦发现铺排质量出现问题, 可以即时给参建各方提供水下排体铺设情况的详细信息, 参建各方可以依据这些信息采取各种措施, 提高铺排施工质量。因此先通过声学设备, 即侧扫声纳进行范围扫测, 得到沉排声呐影像, 对排体搭接初步判断, 直观反映出铺排质量技术状况。

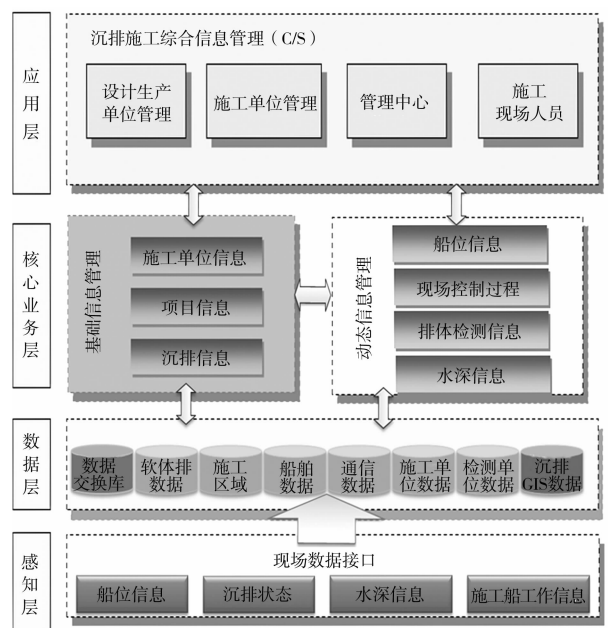


图 1 沉排施工检测管理系统总体架构

2.1 声纳图像拼接技术

利用图像拼接技术可以很好地解决声纳图像实时显示时由于扫描范围不够而导致目标无法全部显示的问题。图像拼接技术就是将一组相互间存在重叠区域的图像序列实施配准、融合形成一幅包含各图像序列信息的宽视野的、完整的、高分辨率的图像。主要包括图像配准和图像融合^[6]两个方面。其中在完成图像配准和图像融合之前, 需要先对图像进行特征点检测。

1) 特征点检测。

采用 SURF 算法检测并描述特征点。SURF 算法对特征点的检测是基于尺度空间理论, 使用 Hessian 矩阵的行列式的极大值来检测特征点。假设 $X(x, y)$ 为图像 I 中的一点, 在尺度 σ 下, X 处的 Hessian 矩阵 $\mathbf{H}(X, \sigma)$ 为:

$$\mathbf{H}(X, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(X, \sigma) & L_{xy}(X, \sigma) \\ L_{yx}(X, \sigma) & L_{yy}(X, \sigma) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $L_{xx}(X, \sigma)$ 、 $L_{xy}(X, \sigma)$ 、 $L_{yy}(X, \sigma)$ 分别为高斯二阶微分在 X 处 x 、 xy 和 y 方向与图像 I 的卷积。

采用 9×9 , $\sigma = 1.2$ 方格滤波器近似代替高斯二阶微分, 该处理也适用于声纳图像特征提取,

简化的 Hessian 矩阵行列式为:

$$Det(H_{approx}) = L_{xx}L_{yy} - (0.9L_{xy})^2 \quad (2)$$

经过构建多尺度的图像金字塔, 在不同尺度上寻找特征点, 对其进行精确的定位之后可以得到稳定的 SURF 特征点。

2) 图像配准。

完成特征点的检测之后, 利用计算特征向量间欧氏距离的方法来实现参考图像与待拼接图像之间的特征点匹配: 当 2 幅图像的 SURF 特征向量生成后, 采用特征向量间欧氏距离作为 2 幅图像中特征点的相似性判定度量^[7]; 首先取参考图像中的某个特征点并在待拼接图像中找出与该点欧氏距离最近和次近的 2 个特征点, 如果最近距离与次近距离的比例小于 60%, 则认为最近的这一对特征点为对应的匹配点对; 遍历参考图像中的特征点, 找出所有潜在的匹配点对。

3) 图像融合。

本文采用加权平滑法来消除图像强度或色彩的不连续性, 实现图像拼接过程中的无缝拼接^[8]。假设相邻图像 I_1 、 I_2 在区间 $[x_1, x_2]$ 重叠, $W_1(x)$ 、 $W_2(x)$ 为加权函数, 一个常用的加权函数如下式:

$$W_1(x) = 1 - W_2(x) = 1 - i/W \quad (3)$$

其中 $0 \leq i \leq W$, W 为重叠区域的宽度, 那么重叠图像 I 在这个区间上 (x, y) 点的像素值如式(4), 算法如图 2 所示。

$$I(x,y) = I_1(x,y)W_1(x) + I_2(x,y)W_2(x) \quad (4)$$

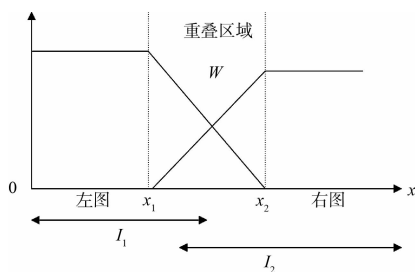


图 2 加权平滑算法

综上, 声纳检测沉排图像拼接的基本流程见图 3。

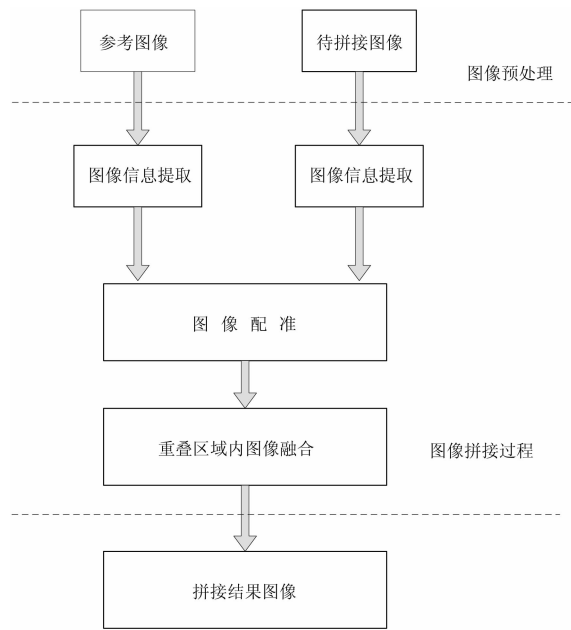


图 3 沉排图像拼接流程

2.2 沉排图像搭接宽度识别技术

铺排搭接区域声纳图像分割技术是铺排搭接宽度测量的基础, 声纳图像由目标高亮区、阴影区和背景区 3 部分组成。目标高亮区主要是由声波在目标表面的反射造成的区域, 而阴影区是由于目标物的遮挡使得声波难以到达造成的区域。水下图像分割的目的就是要从复杂背景区中提取出目标高亮区和阴影区, 并尽量保留图像原始边缘信息。

本文采用基于 MRF 模型的声纳图像分割算法^[9] (图 4)。其具体的分割识别过程如下:

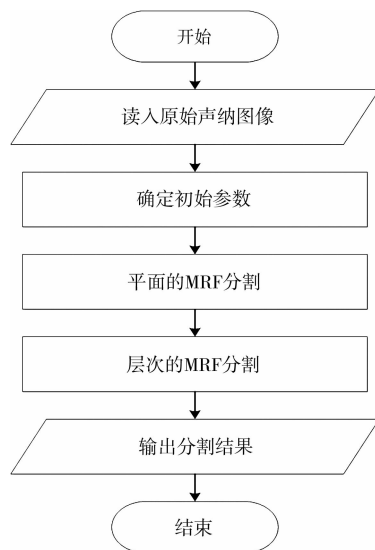


图 4 分割算法流程

1) 确定初始噪声参数和初始的 MRF 模型参数。由块方式的 K -均值聚类算法对原始声纳图像进行初始分割, 求得初始噪声参数。然后进行最大似然分割, 根据分割结果求得初始的 MRF 模型参数。

2) 平面 MRF 分割。利用初始的噪声参数和 MRF 模型参数进行平面 MRF 分割。

3) 空间分层 MRF 分割。在上述分割基础上, 通过空间分层 MRF 分割, 得到最精确的分割结果。

3 沉排施工管理系统研发

3.1 系统硬件设计

1) 沉排施工信息接收与传输平台。

在沉排施工信息管理系统中, 由于船载 AIS 信息覆盖范围有限, 并且施工区域离监控中心较远, 船载 AIS 信息可能无法直接传输到项目部监控中心, 故需在施工区域附近的码头和运输船舶停靠码头安装岸台 AIS 收发机, 因而涉及到多个端口的串口服务器与系统服务器之间的通信。AIS 收发机端接收到的数据通过因特网以 TCP/IP 协议方式传递到系统服务器端, 服务器端接收到 AIS 报文信息后进行解析, 将解析后的信息通过网络传输, 实时标绘在监控客户端。在针对施工区域报警响应的时候, 系统将生成的决策调度方案信息, 通过串口服务器的转换, 将信息通过短信猫发送到指定船舶的负责人手中。沉排施工信息管理系统的硬件总体设计见图 5。

2) 沉排施工信息监控客户端。

沉排施工安全监控客户端, 配置 Intel 奔腾处理器, 搭载 2G 运行内存、100G 硬盘。采用基于电子航道图的标绘技术, 将 AIS 收发端实时获取的 AIS 报文信息, 经过解析后, 实时将获取的船舶航行定位信息标绘在电子航道图上, 实现对船舶的实时跟踪。

3) 系统通信网络结构。

系统可分为 3 大功能模块: 船载监测系统、船岸移动通信系统和位于控制中心的监测与分析

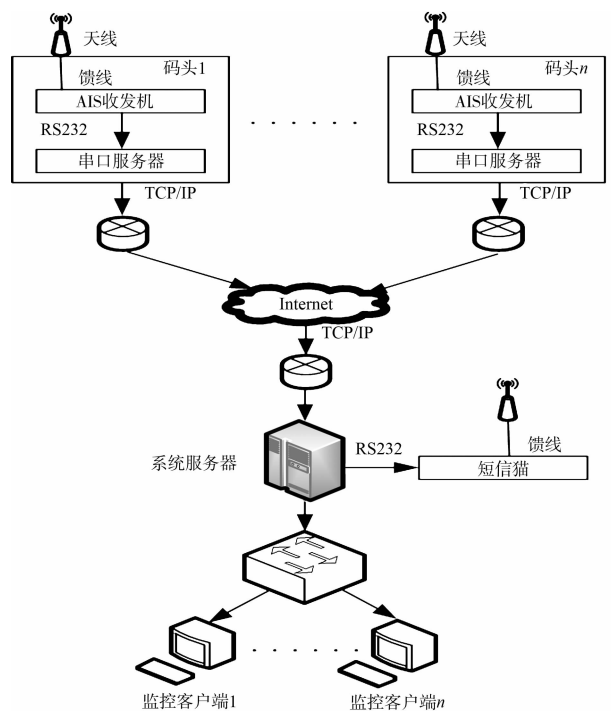


图 5 沉排施工信息管理系统硬件总体设计

管理系统。其中, 船载监测系统主要实现施工过程的数据采集、控制数据上传过程、存储和重传未传数据。船岸移动通信系统主要提供船载数据的上传和控制中心命令的下达基础服务, 而控制中心的监测与分析管理系统主要实现对数据的查看与管理, 便于管理者进行施工质量统计分析等。系统的拓扑结构见图 6。

3.2 系统软件设计

3.2.1 系统功能设计

本系统主要功能是对船舶实时航行的航速、位置信息、航段天气信息以及潮汐信息数据等进行采集, 经无线网络进行传输和解析, 再进行各种处理和操作。结合实际应用环境, 长江水下沉排施工综合管理信息系统的核心功能是对长江航道局所辖范围内的沉排施工质量进行综合管理, 具体包括施工检测过程动态监控、检测过程回放、施工质量及各种施工信息的统计查询及系统管理, 沉排施工区域远程信息控制管理等功能 (图 7)。

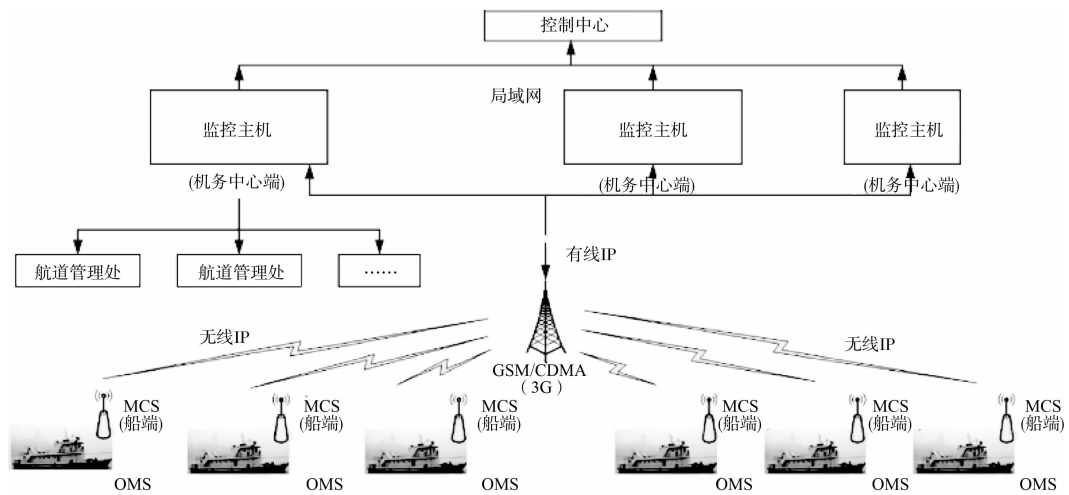


图6 系统网络拓扑结构

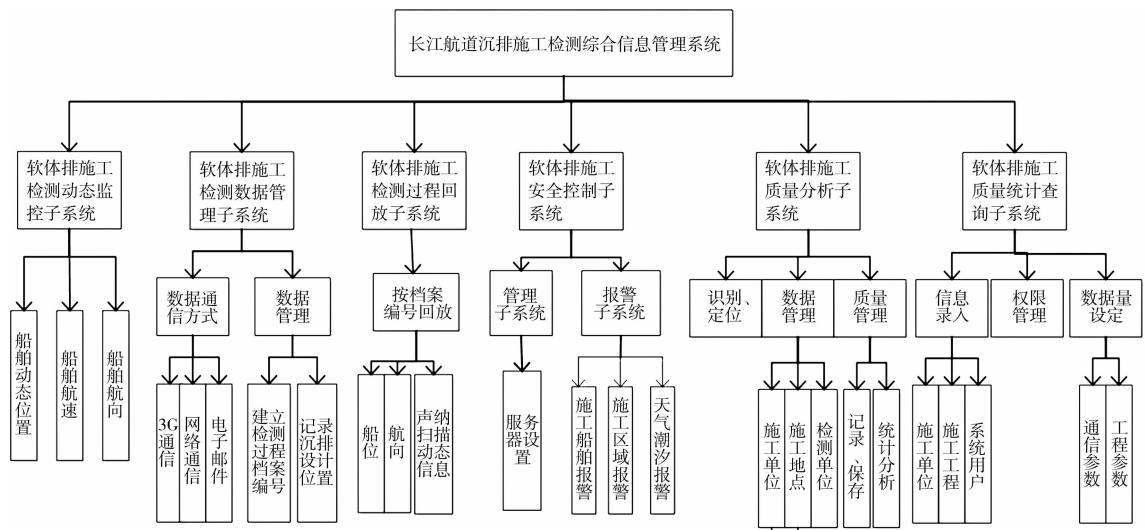


图7 系统功能结构

1) 沉排施工检测动态监控子系统。

以长江电子航道图为基础，实时显示检测船的动态位置、航速、航向。点击检测船，可选择查看计划铺设排体的位置、当前检测的动态扫描信息。

2) 沉排施工检测数据管理子系统。

沉排检测过程中，管理中心可动态监管检测现场。但由于通信等原因，不能保证检测数据完整传送到管理中心。检测数据可保存到检测计算机中，事后通过网路通信、电子邮件等方式将检测数据发送到管理中心。管理中心接收到检测信息后，导入该数据至综合管理系统。系统对每一次检测过程建立档案编号（工程编号+时间+检

测序号），实现检测数据的有效管理。

3) 沉排施工检测过程回放子系统

长江水下沉排施工综合管理信息系统对每一次检测过程建立档案编号，实现检测过程的有效管理。检测过程回放子系统实现按档案编号进行检测过程的真实再现，包括检测船的船位、航速、航向、声纳扫描的动态信息。回放速度、检测位置可调。回放前：选择条件（公司、时间、位置等），回放过程中，信息栏显示相关信息。

4) 沉排施工安全控制子系统。

系统主要功能是对船舶实时航行的航速、位置信息、航段天气信息以及潮汐信息数据等进行采集，然后经无线网络进行传输和解析，对于误

入到施工区域的航行船舶，进行实时的报警响应，调度巡航船只对该船只进行引导，驶出施工区域。

5) 沉排施工质量分析子系统。

沉排影响分析提供的是水下沉排铺设情况的总揽，供管理人员宏观管理。施工质量重点监管的是排体间的搭接距离、排体关键点实际位置与设计位置的偏差等。沉排施工质量分析子系统提供沉排排体间的搭接、排体关键点位置偏差定量分析功能。实现施工质量的精准化管理。实现识别、定位、数据管理（施工单位、地点、检测单位、质量）、质量管理（记录、保存、统计分析等）功能。

6) 沉排施工质量统计查询子系统。

长江航道水下沉排施工质量统计查询功能可实现按施工单位、工程编号、施工区域、检测时间统计沉排施工及施工质量相关信息，并在此基础上形成统计报表。

3.2.2 数据采集系统设计

在沉排施工检测管理系统中，沉排信息是由定位和测深两部分各自独立进行数据采集的，要获得正确的测量结果，就必须让定位和测深数据在时间轴上同步，形成空间匹配的三维数据。在本采集系统中，具体设计思路是：先校验采集的水深或沉排位置信息的有效性，然后比较水深信息和位置信息的采集时间是否同步（或者接近同步），最后生成数据报文通过无线发射模块传输给监控中心。在上述设计思路中，逐层校验确保数据的有效性和节省无线传输的带宽资源；比较水深信息和位置信息采集时间确保数据采集同步工作（图 8）。

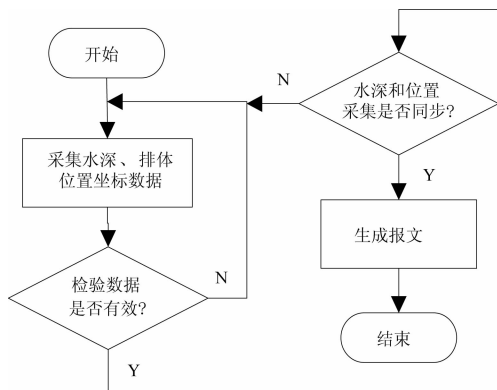


图 8 数据采集流程

3.2.3 数据通信设计

数据的通信是沉排施工管理系统的核心，高效、精准、稳定的数据通信是沉排施工安全控制的必备条件。航行船舶的报警响应、通知调度的决策发布都依赖于稳定高效的数据通信。由于考虑到服务器端或者 AIS 收发机端因为一些不可预知的原因，导致采集数据无法实时传递给服务器或者 AIS 收发端，造成数据的缺失，为此引入超时重启收发机端机制，在 AIS 接收机中设置定时器，通过定时中断向服务器发送心跳包，如 AIS 收发机端多次未收到服务器端的回复，则通过 AIS 收发机控制串口服务器电源，对串口服务器进行重启。保证通信数据的高效、稳定（图 9）。

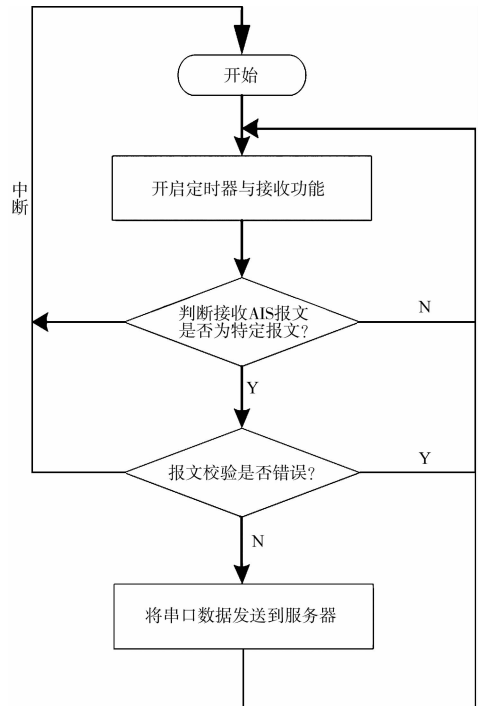


图 9 数据通信流程

4 结语

对长江航道深水沉排施工和管理系统的研发，不仅加强了整个航道整治工程有序安全地进行，同时经济效益显著，其研究成果可直接应用于长江沿线航道整治工程和其他航道整治建筑物工程，并为后续进行类似整治建筑物工程提供宝贵的缩排控制借鉴经验。构建了深水沉排施工检测和管理系统，并着重解决沉排施工检测过程中的关键

（下转第 25 页）