



基于在航船舶动态信息的 长江航道要素感知方法综述*

李学祥^{1,2}, 严新平¹

(1. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430063; 2. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 针对长江航运对长江航道要素信息服务内容、时效性、可靠性需求, 结合长江航道要素种类多及演变复杂的特点, 为克服基于专业移动测量的数字化采集方法在测绘频率上的不足、基于物联网的固定点数字化感知方法在空间感知上的不足, 提出基于航船舶动态信息的长江航道要素感知方法, 并从多传感器集成、多源信息质量评估、多源数据融合3个方面剖析新方法涉及的关键技术。重建航道外场终端设备感知、航道测量、在航船舶感知三结合的航道要素综合感知体系, 对拓展航道信息生产来源、增进在航船舶船岸交互、提升对受自然演变及人类活动双重影响的非渠化内河航道的感知能力、全面改善航道综合信息服务的品质具有重要意义。

关键词: 虚拟航道; 航道要素; 演变; 集成; 融合; 信息服务

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)12-0031-06

Overview of elements perception of Yangtze River waterway based on dynamic information from navigating ships

LI Xue-xiang^{1,2}, YAN Xin-ping¹

(1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;

2. Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

Abstract: With the content, timeliness, reliability requirements of element information service from the Yangtze River waterway to the shipping, combining with the variety and complex evolution of the elements of the Yangtze River waterway, we present a new method based on the dynamic information from navigating ships to overcome the insufficient frequency based on the professional measurement in surveying and mapping, also the lack of space perception based on fixed point digital perception used Internet of things. The key technologies of this new method are analyzed with multisensor integration, multi-source information quality evaluation, and multi-source data fusion. A comprehensive perception system with terminal perception, hydrographic survey, and navigating ships perception will be reconstructed to expand element information sources of waterway, and improve the interaction between ships and the land center. It will also help to improve the element perception ability of inland waterways which get the dual influence of natural evolution and human activities, and improve waterway information service quality to navigation.

Keywords: virtual waterway; elements of waterway; evolution; integration; fusion; information service

近年来, 随着我国经济和社会的快速发展, 长江水运呈现出运输需求旺盛和行业持续较快发

展的良好势头。长江水运已连续9年保持内河货运量世界第一, 成为我国综合交通运输服务体系

收稿日期: 2014-10-06

*基金项目: 交通运输部2013年信息化重大专项(2013-364-548-200)

作者简介: 李学祥(1981—), 男, 博士, 高级工程师, 从事水路交通信息化, 数字航道、智能航道研究。

的重要组成部分。长江航道是长江水运的基础,具有先导性和服务性。通过长江电子航道图的研发与应用和长江数字航道的建设与运维,长江航道养护正在从传统的人工模式向数字化模式转型,长江航道服务正在从传统基于航行参考图的纸质服务向航道信息服务变革,而长江水运的快速发展对长江航道发展提出了更高要求,长江航道仍面临提高航道通过能力、提升航运安全保障水平等发展需求。内容丰富、时效性强、准确可靠、低成本的航道综合信息服务已经成为对内支撑精细化航道养护管理、对外增强航运服务能力的迫切需要^[1-2]。

1 长江航道要素感知研究现状

交通运输环境的感知问题一直是智能交通研究的热点方向,陆路感知主要依赖于固定式传感器采集、浮动车采集以及移动感知采集3种技术手段^[3-4]。近年来,随着我国内河水运大发展,水路感知技术研究逐渐引起了学者的普遍关注,比较有代表性的就是长江的通航环境感知。长江航道要素是长江通航环境的最重要组成部分,长江航道要素的异动信息是航道综合信息服务的核心内容。无论是从航道养护管理决策的角度,还是从航运服务需求的角度,航道要素感知技术均是构建虚拟航道及时刻画实体航道条件的技术基础,将显著改善航道综合信息服务的品质,已成为当前水路交通智能化研究的热点。

1.1 航道要素变化影响因素及特征研究现状

从目前的研究来看,文献[5]对长江航道要素的分析较为系统,从对通航影响的角度重点分析了航道河床、航道水文、航标、通航建筑、船舶交通信息、气象信息等。一般来讲,长江航道要素包括航道尺度、水文气象、地形地貌、助航设施、通航建筑物以及其他影响航道的要素。区别于欧洲莱茵河、美国密西西比河等渠化内河航道,长江航道受流域降水、干支分汇、江湖响应、枢纽运行、地质运动、引水调度等自然演变及人类活动的双重影响,不同类型的航道要素演变不同,

其中航道水位、河床地形、水深、水流、山区能见度、浮标等的变化最为频繁复杂,桥梁净空尺度、洲滩岸线、通航建筑物、岸标等变化较缓。

不同类型的航道要素对通航的影响范围和影响程度不一样。综合来看:航道尺度是度量航道条件的核心指标,对通航的影响最大;水深是船舶航行必须考虑的首位因素。只有整个航路都能够满足船舶安全航行的最浅水深(通航水深)要求时,船舶才能够完成泊位-泊位的航行;而水位的高低则直接决定了航道尺度大小,作为航道尺度维护的重要指标,是指导船舶合理配载、保障船舶安全航行的重要参考因素。同时,水位的变动直接影响变动区域流速流态变化,由于局部比降较大的区域流态紊乱造成船舶航行存在安全隐患;航标是标示航道边界、引导船舶安全航行最为重要的辅助设施;航道整治建筑物是保障航道整治效能发挥的物质基础。

1.2 感知方法研究现状

长江航道要素感知方法的发展与测绘技术、通信技术、基于导航卫星的位置服务技术、物联网技术的发展及航道应用紧密相关。目前主要有两类方法:

1) 基于专业移动测量的数字化采集方法。

基于专业移动测量的数字化采集方法是指经过专业培训的航道测量人员利用船载的单波束测深系统或多波束测深系统、ADCP等专业化测量装备,按照水运工程测量相关的技术规范与工作流程获取或利用高清遥感影像产品提取测量对象的空间和非空间属性信息的方法,为最传统、最常用、最可靠的航道要素异动信息获取方法。该方法通常属于移动测量的范畴,是现代测绘技术在航道业务领域的应用。

该方法主要适用于河床地形、水深、洲滩岸线、水流等航道要素的采集,要素信息的可靠性与测量装备的性能、测量人员专业水平、测量环境、数据处理软件的功能与性能等密切相关^[6]。受人力、物力、工作条件等多方面的限制,只能不定期的开展。通过三期航道测量装备的建设,

目前长江航道测量已由原来的人工模拟测量转变为数字化测量,且基本能实现两个以上水道的长河段一年两次测量、河床地形变化相对稳定的河段一年三次测量、河床变化剧烈易于出浅的河段一月一次测量。

由于各类要素的变化普遍存在随机性,基于专业移动测量的数字化采集方法开展的不定期航道测量,无法实时反映航道条件异动情况。为了解决这一问题,目前主要的研究方向包括以下几个方面:

①不断提升航道测量装备的性能、优化工作流程实现航道测量效率、测绘频率的提升。然而测绘频率始终有限。

②将航道测量与航道条件模拟演变分析结合起来,利用航道演变分析成果修正近期航道测量成果以达到同步航道条件变化的目的。然而无论是基于河工模型,还是基于数学模型、数据挖掘的航道演变分析方法,航道演变分析结果的可靠性还有待进一步提升。

2) 基于物联网的固定点数字化感知方法。

基于物联网的固定点数字化感知方法是指在待感知航道要素范围内的特定点位布设专业的传感装置,定时获取装置作用范围内感知对象的空间和非空间属性信息,并通过特定的通信网络向采集中心播发感知信息的方法,为物联网技术、通信技术、基于导航卫星的位置服务技术在航道要素感知业务方面拓展应用而产生的新型航道要素感知方法。

该方法主要适用于航标、水位、山区河段可视距离等航道要素的感知,要素信息的可靠性在航道外场主要取决于传感装置的布设方案与技术选型、在内场主要取决于要素信息的空间重构方法。通过长江干线数字航道系列工程建设,目前长江干线局部河段建设了航标遥测遥控系统、水位遥测遥报系统、可视距离远程测报系统,已能实现航标异动信息每 5 min、水位异动信息 60 min、可视距离信息每 30 min 遥报一次(遥报时间间隔可配置)。

基于物联网的固定点数字化感知方法首先必须要有合理的传感装置布设方案,传感装置布设方案的制定首先考虑的是要素变化空间分布的特性,如基于沿程航道水位变化特征找出全线水面线的突变点作为布设方案中骨架点确立的主要依据,基于山区河段雾情变化特征找出全线雾情范围、季节、时段作为布设方案的主要依据。因此,该方法需要平衡传感装置的布设密度与水位变化捕捉精度之间的关系,又由于各类要素的变化普遍存在空间分布的不均匀性,为准确刻画感知对象变化的空间分布情况,目前主要的研究方向包括以下几个方面:

①深度分析感知对象变化的影响因素,挖掘感知对象的时空变化规律,在此基础上多方论证后确立最优的布设方案。然而影响因素往往很多,作用机理很复杂,时空变化规律难以全面准确掌握。

②不断改善传感装置的性能,同时提升外场信息传输服务的稳定性与空间位置服务的可靠性。然而长江沿线自然条件与铁路、公路等交通环境监测装置的工作条件存在显著差别,且依然存在无线通信信号盲区和卫星定位信号盲区。

③不断完善空间重构方法。目前长江干线水位拟合普遍基于一维数学模型的方法,可视距离信息普遍基于混合插值法。然而基于一维离散点的方法解决多维的问题,在方法论上存在缺陷,空间重构精度仍然与现实需求有差距。

1.3 感知方法存在的问题

基于专业移动测量的数字化采集方法和基于物联网的固定点数字化感知方法共同构成了当前我国内河航道要素的感知方法体系,并已在长江干线航道开展广泛应用。然而长江干线航道线长、点多,地理位置和客观条件特殊,要素变化影响的因素众多,尤其是水位、水深、河床地形、水流等关键要素的演变复杂,在感知方法、感知手段、感知精度、感知内容等方面仍不能及时有效的揭示其异动情况,支撑虚拟航道的构建,与航道养护、航线规划、船舶配载、船舶操控、定位

定向、导助航、航运安全等需求不相适应,突出表现在以下几个方面:

1) 受建设投资、测量成本以及测量投入产出比等多重因素的影响,航道部门专业化航道测量人员按照专业化航道测量程序利用专业化航道测量装备开展的航道测量在测量范围、测量频率、测量精度、测量环境等多方面受限,无法实时准确刻画长江全线航道水深、河床地形、水流等变化情况。

2) 受流域降水、干支分汇、江湖响应、枢纽运行、地质运动、引水调度等多重因素的影响,沿程来水来沙的变化引起局部河段河势变化,导致原建骨架感知点可能难以发挥骨干控制作用。

3) 受建设条件、建设投资及维护管理等方面的限制,航道水位、山区航道可视距离感知点的布设规模仅能覆盖到沿江骨架点,沿程任意一点的信息只能通过空间重构解决,存在一定的方法论缺陷。

4) 受建模理论及工程实践技术瓶颈的影响,水位、水深、河床地形、水流、山区航道雾情等航道要素在时空分布上存在差异性,其异动信息的感知均为多维问题,虽借助多维航道数学模型等模拟分析模型初步实现了一维向平面、立体的拓展,但是在精度与可靠性方面仍存在差距。

2 基于在航船舶动态信息的长江航道要素感知方法综述

为了更有效地刻画实体航道,支撑虚拟航道的构建,需要从航道要素感知的本质出发探索新型的感知方法。从航道要素的本质来看,航道要素具有空间位置和异动状态双重属性,属于地理信息实体。因此,航道要素感知属于测绘技术应用的范畴,航道要素感知就是要综合考虑感知航道要素信息需求、感知对象变化特点、感知设施建设与运行及维护成本等因素,借助广义测绘的手段实现航道要素空间位置和异动状态的实时数字化采集。

2.1 测绘技术发展对交通动态信息采集的影响

经过多年的技术研究,测绘技术发展先后经

历了人工模拟测绘、数字化测绘、信息测绘、智慧测绘的发展历程。我国著名测绘学家李德仁院士提出,智慧测绘是工业化+信息化、物联网+云计算,可以实现四维智能服务,包括数据、信息加知识。测绘范畴、理念等拓展和延伸,推动了地理信息相关应用领域的发展^[7]。21世纪初,从美国 Good Child 院士提出“人人传感器”到李德仁院士提出“人人都是测量员”,已经替代了“专业人员、专业设备、专业流程”的传统测绘理念,并较早在城市网格化管理中首先开展了应用^[8]。特别是是近年来在交通运输领域,出租车等公共出行工具不再仅仅是交通运输的参与者,更是城市交通流的感知者,基于海量移动位置传感器的交通信息出行计算系列研究成果在城市陆路交通热度分析中逐渐推广应用^[9],有效增加了交通运输环境的感知能力,显著改善了出行服务品质。

2.2 基于在航船舶动态信息的长江航道要素感知原理与可行性分析

将智慧测绘的理念融入航道要素感知业务,可以看出,在航船舶不仅仅是航道综合信息服务的消费者,更是航运交互主要参与者和通航环境的感知者。通过长期的发展,船舶自身信息化与航道信息化、港航企业信息、水运物流信息化同步发展,特别是船载航行数据记录仪、船载测深仪、船载 AIS 终端、船舶机舱系统、船载雷达等规模化推广应用,极大地提升了在航船舶对通航环境的感知能力^[10]。

基于在航船舶动态信息的长江干线航道要素感知方法就是要充分利用长江在航船舶数量大(超过十万艘)、多次往返的特点,将在航船舶作为通航环境的感知者,建立在航船舶感知的航道要素异动数据的利用机制与方法,通过有效地汇集整合和深度挖掘利用,弥补基于专业移动测量的数字化采集方法在测绘频率上的不足、基于物联网的固定点数字化感知方法在空间感知上的不足,形成航道测绘、航道外场终端设备感知、在航船舶感知三结合的航道要素综合感知体系,拓

展航道信息生产来源、增进在航船舶船岸交互、提升对受自然演变及人类活动双重影响的非渠化内河航道的感知能力、全面改善航道综合信息服务的品质。

2.3 基于在航船舶动态信息的长江航道要素感知技术框架

按照基于在航船舶动态信息的长江航道要素感知方法原理, 从数据流和服务链的角度构建的技术实现框架如图 1 所示。利用船端集成的电罗经、操舵仪、测深仪、风速风向仪、计程仪、AIS 装置、雷达、监控装置、导航定位装置等感知设备采集到的测深数据、定位数据、机舱数据、航

行数据、客货数据、监控数据等, 经异构网络的船岸交互, 在岸段进行统一的组织、处理与管理, 并与航道测绘、航道外场终端设备感知等采集的数据进行融合集成, 形成最终的长江航道综合服务数据对外提供信息服务。通过对长江干线在航船舶的船型结构分析发现, 目前长江干线在航船舶以集装箱船和散货船为主。因此, 在航船舶主要针对这两类船舶。

2.4 基于在航船舶动态信息的长江航道要素感知关键技术分析

从图 1 可以看出, 基于在航集装箱船和散货船的长江干线航道要素感知涉及下列 3 项关键技术:

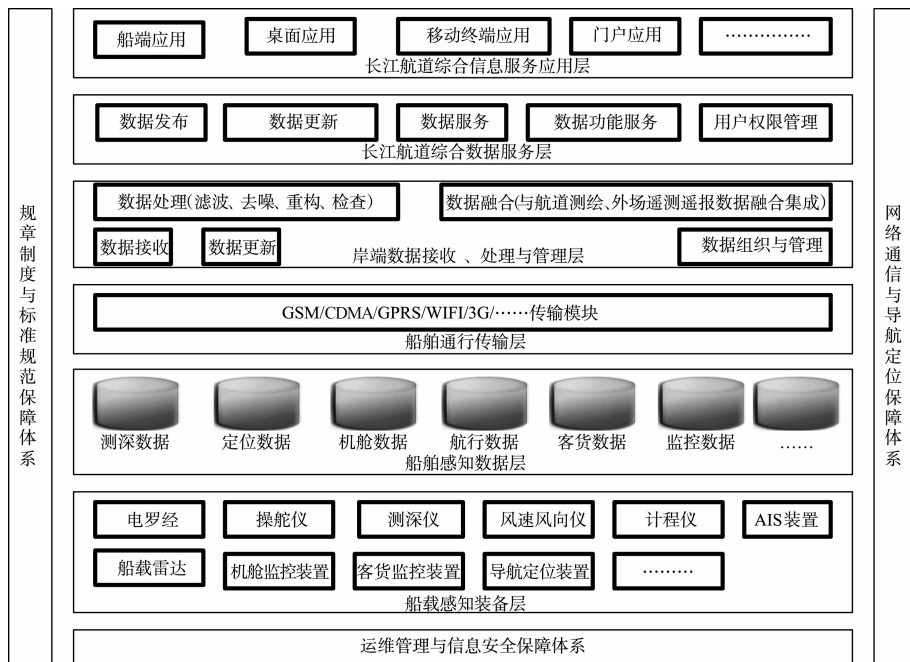


图 1 基于在航集装箱船和散货船的长江干线航道要素感知与服务交互技术框架

1) 基于在航船舶的航道要素多传感器集成技术。

目前, 航行于长江干线航道的船舶, 无论是集装箱船还是散货船, 普遍装载有操舵仪、风向风速仪、电罗经、计程仪、测深仪、AIS 终端、航行数据记录仪、船载雷达、船舶机舱监视报警系统、货物视频监控系统等, 随着长江电子航道图的推广应用, 部分船舶 (100 余艘) 装载有长江电子航道图船舶终端, 这些感知设备可以采集船舶操控、风速、风向、水深、航行里程、本船及

他船、周边环境、船舶机舱、货物、位置等动态信息。针对航道要素感知的现实需要, 从避免设备堆积、功能重复的角度 (船端可利用的空间和资源有限), 在船端集成这些信息采集的设备, 并结合能见度、湿度、温度、大气压强、降雨量、表面流速流向等感知的需要进行扩展, 解决供电、信息传输、定位基准、与岸端交互等问题, 是实现在航船舶动态信息利用的首要条件。

2) 在航船舶动态信息的质量评估与修复技术。因船舶颠簸、传感器性能、网络传输不稳定、

空间与属性采集不同步、数据组织流程、船舶航行性质（货物安全准时达到目的地）等多方面的原因，在航船舶感知的各类动态信息可能存在不连续、失真、粗差甚至错误，导致作为航道要素信息感知来源，较航道部门使用专业的感知方法获取信息的权威性差。在利用相关信息服务于在航船舶前，必须对数据质量进行评判，重点评判数据的准确性与可靠性，找出影响数据质量的各种因素，梳理各因素的作用机理与影响的量化关系，指导数据修复。可结合权威部门发布的历史及近期的要素数据进行比较分析，确定合理的判别规则和评判阈值，并通过具体试验验证针对不同类型要素的修复模型的有效性，最终形成可用于正式对外发布服务或与长江电子航道图数据进行融合的要素采集数据。

3) 基于长江电子航道图的在航船舶动态信息融合技术。

目前，长江航道综合信息服务以长江电子航道图服务为主，基于长江电子航道图的在航船舶动态信息融合问题属于多源多态异构数据的集成问题。对航运船舶来讲，核心的还是在航船舶感知的水深数据与电子航道图中显示的水深数据的融合问题（其他数据可以通过动态集成解决）。一般来讲在航船舶感知的绝对水深经评估粗差别除后可以结合即时的船位信息，通过空间参考转换、航行基面转换等操作转为电子航道图生产可处理的水深点，然而电子航道图中显示的水深是综合考虑了航道尺度的实际维护能力、航行安全等多方面的因素后归一化处理后的结果。因此，特别是针对单船构建在航船舶动态信息与电子航道图数据的融合模型、针对多船构建海量在航船舶动态信息间的融合模型，实现在航船舶动态信息、航道专业测量信息、航道外场监测信息的融合。

3 展望

在系统分析基于专业移动测量的数字化采集方法与基于物联网的固定点数字化感知方法的应

用现状与存在问题基础上，针对内河航道要素信息服务的需求，结合国内外交通运输环境动态采集研究进展，提出基于在航船舶动态信息的长江干线航道要素感知方法，拓展了非渠化内河航道通航环境感知手段，引入社会资源参与航道服务数据的生产，同时通过在航船舶与航道信息服务的双向交互改善航道信息服务品质。然而航道要素的种类众多、空间分布、变化频率及对航行的影响等均不同，后续需要针对水深、表面流速流向、山区可视距离等不同类型要素，分别研究制定不同的数据质量评定方法、数据修复模型和数据融合模型，并通过单船和多船的现场试验检验才能安全地开展服务于航运的规模化应用。

参考文献：

- [1] 李学祥, 刘林, 刘丰阳. 无锡“感知航道”对内河航道发展的几点启示[J]. 航道科技, 2013(7): 9-12.
- [2] 李学祥, 李昕, 徐秀梅. 物联网在长江干线航道的应用研究[J]. 航道科技, 2014(7): 13-16.
- [3] 黄轶群, 王剑, 蔡伯根. 基于无线传感器网络的交通信息采集系统研究[J]. 现代电子技术, 2010(23): 158-164.
- [4] 段宗涛, 康军, 唐蕾, 等. 车联网大数据环境下的交通信息服务协同体系[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2014(2): 108-114.
- [5] 吕永祥. 长江干线航道要素状态感知与交互技术分析[J]. 水运工程, 2012(9): 153-158.
- [6] 杨品福, 陈先桥, 初秀民. 长江航道测量信息化处理相关技术研究[J]. 中国水运, 2011(11): 79-81.
- [7] 李德仁, 王艳军, 邵振峰. 新地理信息时代的信息化测绘[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2012(1): 1-5.
- [8] 李学祥, 边馥苓. 地理信息系统的技术演进及应对策略研究[J]. 地理信息世界, 2010(5): 34-37.
- [9] 关志超, 胡斌, 张昕, 等. 基于手机数据的城市交通信息采集技术研究[C]//第七届中国智能交通年会优秀论文集, 2012: 845-854.
- [10] 张惠荣, 袁章新, 张利中. 船舶动态信息采集与传输关键技术研究[J]. 交通部上海船舶运输科学研究所学报, 2001(12): 82-95.

(本文编辑 郭雪珍)