

水产养殖大数据技术研究进展与发展趋势分析

段青玲 刘怡然 张璐 李道亮

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 水产养殖对象特殊、环境复杂、影响因素众多,精准地监测、检测和优化控制极其困难。大数据技术结合数学模型,把水产养殖产生的大量数据加以处理和分析,并将有用的结果以直观的形式呈现给生产者与决策者,是解决上述难题的根本途径。本文主要对水产养殖大数据技术研究进展与发展趋势进行了深入剖析,提出了水产养殖业大数据技术的总体架构;分析了水产养殖大数据的来源和获取手段,重点总结了几种水产养殖大数据分析技术的研究进展和现有水产养殖大数据平台及其提供的应用服务;最后针对水产养殖与大数据技术结合过程所面临的困难与挑战,从实现全面感知、全产业链数据智能分析与自动决策、水产养殖大数据标准体系建设等方面提出水产养殖大数据技术的发展方向。数据是根本,分析是核心,利用大数据技术提高水产养殖综合生产力和效益是最终目的,应深度挖掘现实需求,整合水产养殖全产业链数据,加强基础理论和核心关键技术研究,从而推进大数据技术与水产养殖产业的深度融合,支撑我国水产养殖业彻底转型升级。

关键词: 水产养殖; 大数据技术; 数据分析与挖掘

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)06-0001-16

State-of-the-art Review for Application of Big Data Technology in Aquaculture

DUAN Qingling LIU Yiran ZHANG Lu LI Daoliang

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: It has many difficulties in monitoring and detection accurately and optimal control in aquaculture because the targets are so special and environment is so sophisticated that contributes too many impact factors. Big data technology, as well as mathematical models are used to process and analyze the large scale of data producing in aquaculture industry and the useful results are presented to producers and decision makers in intuitive form, which is the fundamental way to solve the above problems. The research progress and development trend of the applications of big data technology in aquaculture were deeply discussed. Firstly, the overall architecture of applying big data technology in aquaculture was proposed and the data sources and data acquisition tools were listed. Then, several kinds of analysis techniques, which had been well applied to deal with the existing problems in aquaculture, were mainly summarized and the several current big data platforms and the services they provided for aquaculture were introduced. Finally, in view of solving the difficulties and challenges faced in the process of applying big data technologies in aquaculture, the research future in this field was proposed from the aspects of comprehensive awareness, intelligent analysis, automatic decision-making, and big data standard system construction of aquaculture. In the applications of big data technology in aquaculture, data is the basis and analysis is the core. The ultimate goal is to take advantage of big data technology to improve the comprehensive productivity and efficiency of aquaculture. In order to achieve it, the actual demands in aquaculture should be greatly concerned. In addition, data of the whole industry chain in aquaculture should be integrated and the basic theories and core key technologies should be studied intensively and thoroughly. In this way, the application of big data technology in aquaculture will be deeper and the integration of the two will be closer, which will support the complete transformation and upgrading of China aquaculture industry.

Key words: aquaculture; big data technology; data analysis and mining

收稿日期: 2018-05-03 修回日期: 2018-05-15

基金项目: 北京市科技计划项目(Z171100001517016)和公益性行业(农业)科研专项(201203017)

作者简介: 段青玲(1967—),女,教授,博士生导师,主要从事智能信息处理和农业大数据研究,E-mail:dqling@cau.edu.cn

通信作者: 李道亮(1971—),男,教授,博士生导师,主要从事农业先进感知与智能信息处理研究,E-mail:dliangl@cau.edu.cn

0 引言

我国水产养殖产量居世界第一, 占全球总产量的 65%。近 20 年, 养殖产量增长了 2 倍, 为我国城乡居民提供了 1/3 的优质动物蛋白, 对保障国家食品安全发挥了重大作用。但是, 传统水产养殖模式带来的生产效率低、环境压力大和养殖风险高问题越发严重, 劳动力成本持续提高、劳动力来源老龄化严重进一步加深了因粗放的生产方式而导致的生产率低下难题。高效、生态、精准、智能的水产养殖是我国水产养殖业未来发展的必由之路。水产养殖对象特殊、环境复杂、影响因素众多, 精准的监测、检测和优化控制极其困难。大数据技术结合数学模型, 把水产养殖产生的大量数据加以处理和分析, 并将有用的结果以直观的形式呈现给生产者与决策者, 是解决上述难题的根本途径。

水产养殖大数据技术是大数据技术在水产养殖领域的具体应用技术, 通过对水产养殖数据进行获取、分类、加工、管理、挖掘、分析, 最终把有价值的信息提取出来, 提供给生产者和决策者, 进而实现水产品的精准化、智能化和最优化养殖。水产养殖大数据技术中数据是根本和前提, 分析是核心, 利用是目的。通过对水产品的生产、消费、存储、流通、深入加工等全产业链数据的全面采集与获取, 智能化分析、挖掘与处理, 构建水产养殖大数据平台, 推广大数据

应用, 实现大数据共享, 提供大数据服务, 从而优化水产养殖资源配置, 提高水产养殖生产效率, 降低养殖风险。近年来, 国内外学者已经对水产品养殖生理、养殖、市场和生态效应进行了大量的研究, 积累了海量的数据和模型, 随着大数据技术的发展与应用, 水产养殖产业将进入新的发展时代。基于此, 本文对水产养殖大数据应用技术进行总结, 为大数据技术在水产养殖业中的深入应用提供支持。

1 水产养殖大数据技术研究进展

水产养殖大数据是指利用大数据的理念和相关技术, 对水产养殖全产业链产生的大量数据进行处理和分析, 来解决水产养殖领域的资源利用率不高、生态环境恶化、生产效率效益低等问题, 并从中发现新知识、创造新价值、提升新能力的新一代信息技术和服务业态^[1]。目前, 大数据技术在我国水产养殖业已有初步的应用, 但总体上仍处于试验示范阶段, 本文从水产养殖大数据技术架构、数据来源、处理和分析方法、应用平台等方面阐述水产养殖大数据技术的研究进展。

1.1 水产养殖大数据技术架构

水产养殖大数据技术架构如图 1 所示, 右面是水产养殖业中所应用大数据技术的总称及其所处层次, 左面是相应层级所包含的主要技术类别。金字塔底层是海量水产养殖大数据的来源, 自下而上地,

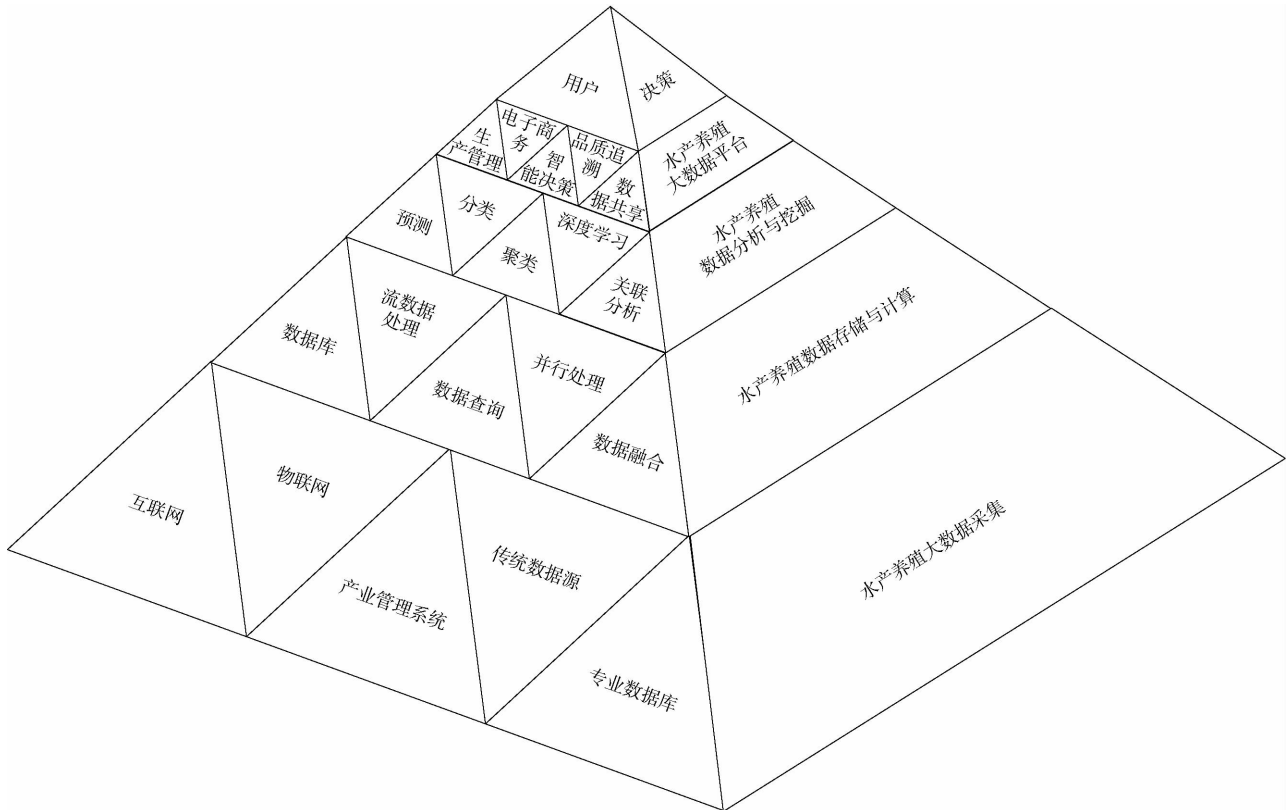


图 1 水产养殖大数据技术架构

Fig. 1 Technical framework of big data in aquaculture

数据采集技术用于采集水产养殖生产、加工和销售过程中产生的数据;数据存储与计算技术用于存储和处理水产养殖大数据;数据分析与挖掘技术用于构建水产养殖数据分析与挖掘模型并将它们集成在水产养殖大数据平台上,将数据分析结果和数据服务提供给用户进行决策。每个层次的数据量依次递减,但每个层次中数据的价值却依次递增。

1.2 水产养殖大数据来源

水产养殖是一个涉及多变的物理世界和人类社会的复杂系统,在其生产、经营、管理和服务等各种

活动中,产生具有潜在价值的、海量的、活的数据,即为水产养殖大数据。水产数据资源来源丰富、结构复杂、质量参差、用途广泛,经过针对水产养殖领域应用需要的整理和设计,采用合理的方式在计算机中表示、存储和管理,以便于使用和传播^[2-3]。水产养殖大数据的主要来源是互联网数据、物联网感知数据、产业管理系统、专业数据库和传统数据源。表 1 从获取方式、数据类型、获取难度和数据质量几方面比较了水产养殖大数据的主要来源。

表 1 水产养殖大数据的主要来源比较
Tab.1 Comparison of the main data source of aquaculture industry

数据源	典型代表	获取方式	主要数据类型	获取难度	数据质量
互联网数据	水产行业网站	网络爬虫	数值、图片、文本、音频、视频等	容易	低
	政府机构、组织和企业相关数据源	网络爬虫	数值、图片、文本、音频、视频等	容易	高
物联网感知数据	养殖环境数据	感知设备	数值、图像、视频	容易	中
	个体/群体参数	感知设备	数值、图像、视频	适中	中
产业管理系统	统计年鉴	查阅	数值、文本	容易	高
	政府产业管理系统	网络爬虫	数值、文本	容易	高
	生产管理数据库	网络服务接口	数值、文本	适中	高
专业数据库	行业数据库、文献数据库	网络服务接口	数值、图片、文本等	适中	高
传统数据源	领域专家	调查、咨询	文本、语音、视频	困难	高
	养殖户、养殖企业	问卷调查、日志查阅	数值、文本	困难	低
	纸质文献	查阅、整理	文字、图片	困难	高

(1) 互联网数据

互联网数据数量庞大且容易获取,其主要获取方式是通过网络爬虫和网络服务接口。如表 2 所示,随着水产养殖业信息化程度的提升,目前已有众多水产行业网站,主要内容有水产养殖技术、市场价格信息、病害风险预警和水产相关知识等数据,如中国水产网、中国水产养殖网和中国水产门户网等。另外,政府、非营利组织和企业信息公开网站向全社会提供的数据资源服务,能够促进数据资源的深度

挖掘利用,如渔业与水产科学数据分中心。由于网站设计的多样性和网站内容的丰富性,水产网站中多为半结构化或非结构化数据,如图片、文本、音频、视频等。

(2) 物联网感知数据

水产养殖物联网感知数据主要包括养殖环境参数、水产动植物个体/群体参数和水产品个体/群体行为参数、养殖装备参数,通过物联网感知设备进行感知与识别。主要的物联网感知设备有水质参数传

表 2 水产行业主要网站及其内容
Tab.2 Major websites and their subjects in aquaculture industry

网站名称	网址	网站类型	主要内容
中国水产门户网	http://www.bbwwfish.com/	行业信息门户	水产资讯、养殖技术、水产论坛、人才招聘等
中国水产养殖网	http://www.shuichan.cc/	行业信息门户	水产资讯、养殖技术、市场供求、市场价格
中国水产网	http://www.zgsc123.com/	行业信息门户	水产资讯、水产交易平台
中国水产频道	http://www.fishfirst.cn/portal.php	行业信息门户	水产资讯、养殖技术、水产论坛、水产博客
渔商阿里	http://www.ysali.com/	电子商务	药物、苗种、饲料和鲜活产品等交易
小 6 水产网	http://www.xiao6.com/	电子商务	水产品批发
全国水产技术推广总站	http://www.nftec.agri.cn	政府门户	渔业政策、渔业统计信息公报
中国渔业政务网	http://www.cnfm.gov.cn/	政府门户	渔业政策、渔业新闻
中国水产科学研究院	http://www.cafs.ac.cn/	科研院所门户	科研动态、知识服务、科学数据、学术期刊
渔业与水产科学数据分中心	http://fishery.agridata.cn	数据共享	渔业科学数据共享、农业数据法规与标准
艾格农业数据库	http://db.cnagri.com/	数据共享	行业数据

感器、水下机器人、水下相机、水下摄像头和气象站等。水产养殖环境参数以流数据为主,其特点是实时性、时序性和连续性,大规模流数据处理和挖掘成为研究者们主要探索的领域^[4-5]。在水产养殖过程中,最受养殖户和研究者关注的是溶解氧含量、水温、酸碱度、电导率和氨氮等水体环境参数,主要通过传感器获取,表 3 是主要的水体信息传感器。其

次是水产养殖动植物水产品个体/群体参数和水产品个体/群体行为参数,主要是通过采集图像和视频获取,利用计算机视觉技术识别其形状特征、纹理特征和颜色特征等进而对其行为进行估计。再次是水产养殖装备状态参数,主要通过传感器和射频装置获得。以上数据实时采集,每年产生的数据量呈井喷式增长。

表 3 主要水体信息传感器
Tab.3 Major water information sensors

传感器名称	类型	测量信息	性能	应用情况
溶解氧传感器	电化学、光学	水体溶解氧含量	测量精度约为测量值的 $\pm 2\%$	产品成熟,应用广泛
水温传感器	热电学、光学	水的温度	测量精度约为 $0.02 \sim 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$	产品成熟,应用广泛
电导率/盐度传感器	电化学	水中导电离子浓度	测量精度约为测量值的 $\pm 3\%$	产品成熟,应用广泛
氨氮传感器	电化学	游离态氨 NH_3 和铵离子 NH_4^+ 形式存在的化合态氮总质量浓度	测量精度约为测量值的 $\pm 5\%$ 或 $\pm 0.3 \text{ mg/L}$	已有产品,应用较少
浊度传感器	光学	水的透明程度	测量精度约为测量值的 $\pm 2\%$	产品成熟,应用较少
pH 值传感器	电化学	水的酸碱度	测量精度约为测量值的 $\pm 2\%$	产品成熟,应用广泛
叶绿素 a 传感器	光学	水中叶绿素质量浓度	测量精度约为 $0.1 \text{ }\mu\text{g/L}$	已有产品,应用较广
水体微量元素	生物学与光学结合	综合指标		实验室研究

(3)产业管理系统

产业管理系统主要是指政府的渔业产业管理系统、统计年鉴和企业的生产管理系统。产业管理系统供政府工作人员办公使用,如各地渔业部门通过中国渔业政务网向渔业局报送各水产统计数据。统计年鉴是与水产的生产、市场、流通等相关的统计数据的可靠来源;由于统计数据描述一定地域范围内的整体情况,无法进行细粒度的数据分析和挖掘。企业的生产管理系统中除了物联网采集的水产养殖环境参数和水产个体/群体行为参数,还有关于投喂、病害、用药、换水等日常管理操作的记录,这些数据的质量虽然不如水产专业知识库,但其研究价值较高。

(4)专业数据库

与水产相关的数据库资源主要有水产行业数据库和文献数据库等。水产行业数据库,由水产养殖领域专家和软件开发工程师联合建设,包含了水产养殖领域相关数据、知识和经验,数据质量很高,其自动化更新和维护是当前研究的重点和难点。文献数据库是指数字出版平台提供的学科专业数字图书馆和行业图书馆中与水产有关的文献资料,主要包括期刊杂志、博士论文、硕士论文、会议论文、报纸、工具书、专利和标准等,是质量较高的知识级数据。

(5)传统数据源

传统数据源是指水产业信息化程度较低的阶段数据的主要来源,如纸质文献,水产养殖专家、水产养殖企业和养殖户的手工记录。这些数据可通过问

卷调查、专家访谈、纸质文献查阅和养殖日志查阅等非电子方式获取,再录入到计算机中。手工录入的数据经过加工和整理,符合人类思维方式,但有可能具有主观性或者存在录入错误的情况发生。

1.3 水产养殖大数据存储与计算

水产养殖大数据存储与计算主要解决的是水产养殖大数据如何存储和如何使用的问题。由于水产养殖大数据的多源异构性,需要对数据进行融合处理才能存入目标数据库或进一步处理分析;又由于水产养殖大数据多样的处理要求,数据在存储和处理时也需要有针对性的方法。

1.3.1 多源水产养殖大数据融合

多源数据融合技术是将来源广泛的、用不同手段获得的数据综合到一起,分为数据级融合、特征级融合和决策级融合^[6]。数据级融合技术在水产养殖领域主要用于提升物联网所采集数据的质量,由于传感器类型、生产厂家的差异,水产养殖物联网采集的数据通常是多源异构的,另一方面,传感器感知到的数据可能存在冗余性。缪新颖等^[7]采用自适应加权融合算法,对水产养殖环境监控系统中放置在 8 个不同位置的水温传感器所采集的数据进行了融合处理,数据精度得到提升。陈明等^[8]使用 BP 神经网络对南美白对虾集约化养殖监控系统中的水温等 6 个参数进行了融合。毛力等^[9]基于聚类分析法对水温、溶解氧、pH 值、氨氮含量等水质参数进行了数据融合处理,并结合计算机视觉技术量化了鱼类行为学行为特征参数,基于极限学习机融合水质

参数与鱼类行为共同表征水质状况。HASSAN 等^[10]深入分析了一些特征级和决策级的数据融合研究,主要包括采集传感器网络数据和视频图像共同对水产养殖环境进行监测,建立投喂模型和进行疾病诊断。数据级融合技术在水产养殖领域有较广泛的应用,但特征级和决策级融合研究较少,是水产养殖大数据今后研究的重点。

1.3.2 水产养殖大数据存储技术

物联网感知的水产养殖环境数据通常是高维时空数据,且有实时处理要求,适用于有极高读写性能的内存数据库存储^[11]。对于水产动物视频图像和互联网水产舆情等非结构化数据,关系模型不适用, No SQL 技术通过列表、集合、哈希表等概念对数据进行建模,既增强了数据库系统的扩展性和效率,又保证了数据库的一致性^[12-14]。分布式数据库技术可以解决数据规模大的问题,通过分割数据的方法,数据被并行地处理,动态地把数据和负载分布到整个集群系统上,达到高效率处理数据的目的^[15]。从应用的角度看,水产养殖生产管理系统和专业数据库的业务通常是对数据的管理且涉及的数据流普遍较少,传统的关系型数据库即可胜任;但想要在水产养殖大数据之上进行分析,对于联机分析处理和数据挖掘的任务,面向分析应用的数据库技术更加适应潮流,如具有高效压缩、更高 I/O 效率等特点的列存储数据库技术和具有高度扩展性和容错性的 MapReduce 技术。

1.3.3 水产养殖大数据处理框架

实时性是水产养殖大数据的重要特点,为了在环境或者生产操作等出现异常时,能够采取及时的措施,养殖环境参数等流式数据的处理将日益受到重视。目前水产养殖大数据主流的处理技术是 MapReduce 编程模型与 Hadoop 架构, Hadoop 是典型的大数据批处理架构,由 HDFS 负责存储整合好的海量数据,并通过 MapReduce 将计算逻辑分配到各数据节点进行数据计算和价值发现,但对流式数据的处理不够重视^[16-18]。为了适应水产养殖大数据的应用场景,通过实现 Lambda Architecture 的方式将实时计算平台与离线批处理机制结合在一起,使水产养殖大数据处理框架既具备流式数据功能,又提供历史数据挖掘的能力^[19-21],是未来研究的方向。

图 2 是在 Hadoop 上部署 Storm 系统从而实现 Lambda 架构的示意图, Lambda 架构分为 3 层:批处理层、流式处理层和服务层。流式处理层中,实时数据先到达 Storm,它负责在数据一到达时就将数据复制到新的数据中心,渐增地进行计算,从而使系统具备实时处理数据的功能;批处理层存储数据集的主副本,并用 Hadoop 系统实现离线的批处理,处理那些实时性要求不高,却需要大量数据驱动的数据分析任务。因此,基于 Lambda 架构大数据处理方案是未来水产养殖大数据处理平台的发展方向。

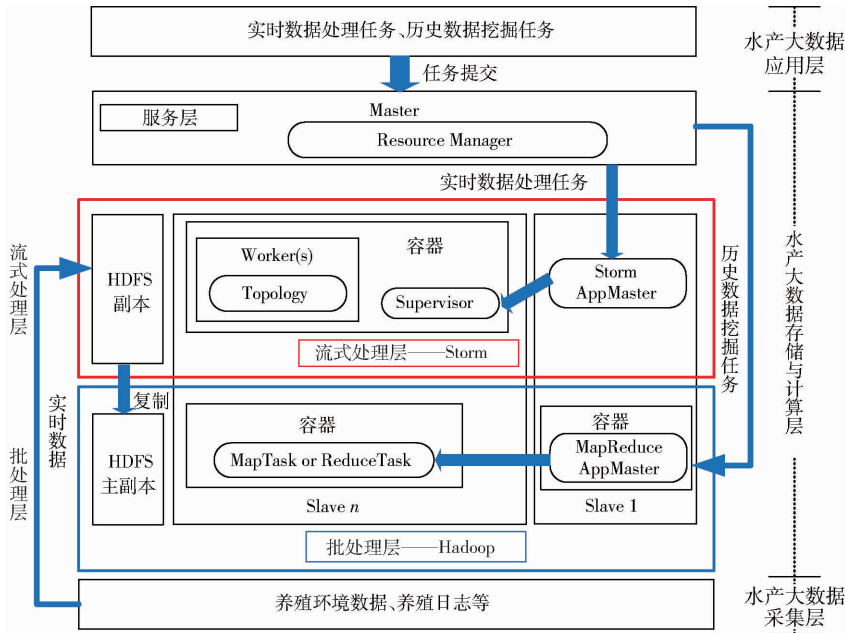


图 2 基于 Hadoop 和 Storm 系统的 Lambda 架构

Fig. 2 Lambda architecture based on Hadoop and Storm systems

1.4 水产养殖大数据分析与挖掘

传统的数据分析建模需要大量的先验知识和工

具,凭借人类的认知能力从数据中抽象出自然规律,从而构建机理模型。水产养殖复杂的生产环境造成

数据的多样性、异构性和不确定性,仅凭人的观察发掘潜藏的知识和规律过程变得漫长,事先建立的模型无法完全拟合真实情况。数据挖掘技术作为一种由数据驱动进行建模的过程,能够自动发现隐藏在数据中的模式,通常可以分为分类分析、预测分析、聚类分析和关联规则分析^[22-24],数据驱动正是在实测数据和抽象规律间找到了一个平衡点。因此,数据驱动建模是水产养殖大数据分析必然趋势,数据驱动建模降低了数据分析的门槛,大大节约了数据建模的时间,更重要的是解决了大数据价值密度低的问题。

1.4.1 大数据分析技术在水产养殖中应用的现状

近年来,大数据分析技术与水产养殖业相结合,在水产养殖业产前、产中和产后均有运用,主要用于研究解决水产养殖业中养殖环境预测与预警、病害诊治与预警、异常行为检测与分析、市场分析与挖掘、质量控制与追溯和水产养殖大数据平台构建等实际问题。表4和表5是基于中国知网、万方数据库和 Web of Science 等文献检索平台检索的 SCI、EI、中文核心期刊文献数据,表4是从应用领域的角度,对近5年国内外大数据技术在水产养殖业的应用领域文献进行分类统计的结果。

表 4 近 5 年国内外水产养殖大数据技术应用领域
Tab.4 Main research issues of big data technologies in aquaculture in recent 5 years

研究内容	文献量	典型文献序号
养殖环境预测与预警	49	[25-27]
病害诊治与预警	17	[28-30]
异常行为检测与分析	11	[31-32]
市场分析与挖掘	5	[33-34]
质量控制与追溯	13	[35-36]
水产养殖大数据平台	11	[37-39]
大数据应用综述	6	[16,18]

表5是从大数据技术的角度,对近5年来几种典型大数据分析技术在水产养殖领域的应用文献进行分类统计的结果。近5年来对水产养殖大数据挖掘的研究非常丰富,也有部分研究将云计算和分布式系统等大数据处理应用于水产养殖领域。

表 5 近 5 年国内外大数据技术在水产养殖领域的应用研究成果
Tab.5 Research on big data technologies in aquaculture in recent 5 years

研究内容	文献量	典型文献序号
云计算	11	[40-42]
分布式系统	21	[36,43-44]
数据挖掘	>100	[45-47]

1.4.2 基于预测分析的水产养殖大数据挖掘

预测技术是利用历史数据来预测未来可能发生的行为或者现象。预测问题是水产养殖大数据挖掘最常见的问题,例如养殖环境参数预测和市场价格预测。近些年,基于统计学理论的机器学习方法被广泛应用于解决各种预测问题,主要包括灰色理论法、神经网络、支持向量机、最小二乘支持向量机等。

(1) 水产养殖环境参数预测

预测水质参数的变化,对及时发现异常现象、预防病害发生、降低养殖风险具有重要意义,因此,水产品养殖环境参数预测,一直是水产养殖大数据研究的重点和热点^[48-49]。表6总结了国内外研究者近年来(2012—2017年)对水产品养殖水质参数预测的研究。表中 DO 代表溶解氧含量,AT 代表气温,RF 代表降雨量,RH 代表相对湿度,SR 代表太阳辐射,WS 代表风速,pH 代表酸碱度,EC 代表电导率,AP 代表气压,WD 代表风向,ST 代表盐度,TD 代表浊度,II 代表光照强度,RP 代表氧化还原电位,NH₃-N 代表分子氨含量,NH₄⁺-N 代表离子氨含量,WL 代表水位,AN 代表氨氮含量。LSSVM 为最小支持向量机,BPNN 为前馈神经网络,ELM 为极限学习机,PSO 为粒子群算法,CPSO 为柯西粒子群算法,ACA 为蚁群算法,EMD 为经验模态分解,IABC 为改进的人工蜂群算法,AMPSSO 为自适应变异粒子群算法。由表6可知:①几乎所有的模型都是数据驱动建模的,即都是根据数据的统计规律进行预测的,因为传统的机理模型难以模拟复杂的养殖水环境,复杂的机理模型又难于控制。②模型的复杂程度越来越高,从一到两个模型的组合到三四个模型的组合,且对数据的预处理步骤越来越多。③关注的参数越来越多,从主要对溶解氧含量的预测到对水温、酸碱度和氨氮含量等多种参数的预测。随着大数据技术的进一步应用,水产养殖水质参数预测研究将使用更大型的无线传感网络,考虑更多的物理、化学和生物参数,并使用更复杂的模型。

(2) 水产品价格预测

针对水产品价格波动区间大、波动频率低和影响因素多等特点,目前已经提出的水产品价格预测模型按照数据组成,可以分为一元预测模型和多元预测模型;按照模型构造方式,可以分为单一预测模型和组合预测模型,表7列举了近年来水产品价格预测模型研究成果。水产品价格波动不是单一因素作用的结果,通过采集多源数据,综合时间范围、地理环境 and 经济条件等因素进行挖掘,是当前水产品价格预测的研究方向。

表 6 水产养殖水质参数预测模型对比

Tab.6 Comparison of the main prediction models of water quality in aquaculture industry

文献序号	预测目标	预测因子	预测方法	优化方法	分析方法
[50]	DO	DO、WT、pH、RF、SR、WS、RH	ACA-LSSVR		
[51]	DO	AT、RF、RH、SR、WS、DO	IPSO-LSSVR	改进粒子群算法权重调整公式	
[52]	DO	DO、WT、SR、AP、WS、WD、RH	LSSVR	根据特征点分段时间弯曲距离分割训练集	
[53]	DO	DO	CPSO-LSSVR	小波分解	
[54]	DO	DO、SR、RH、WS、RF、AP	BPNN	改进了 BP 神经网络算法的权重更新公式	主成分分析 (PCA)
[55]	DO	RF、WS、WD、SR、AT、RH、AP	PSO-BPNN	小波降噪、Kriging 差值	
[56]	DO	pH、WT、ST、TD	LSSVR	混沌变异的分布估计算法	
[57]	DO	II、AT、AP、WS、RH、pH	ELM	K-means 聚类分割训练集	利用皮尔森相关系数确定环境因子权重
[58]	pH	pH、DO、RP、WT	LSSVM	改进文化鱼群算法	主成分分析
[59]	pH	pH	IABC-多种模型	集合经验模态分解法分解预测序列	
[60]	WT	WT	EMD-BPNN		
[61]	pH&WT	WT、pH、DO、EC、NH ₃ -N、NH ₄ ⁺ -N	PSO-BPNN	使用 PSO-BPNN 算法对异常数据进行修复处理	
[25]	WT	WT、WL、AT、AP、RH、SR、WS	改进水温机理模型	结合粒子群算法思想改进人工蜂群算法	影响水温的机理模型分析
[26]	DO、WT、RP、pH	DO、WT、RP、pH	BPNN	采用模糊方法优化了自适应步长	
[62]	AN	AN、WT、pH、DO、WD	AMPSO-LSSVM	小波降噪	主成分分析 (PCA)
[63]	水质状态	21 种理化参数	改进的决策树模型	采用功能正切熵的函数选择属性和分割点	

表 7 近年来水产品价格预测模型研究

Tab.7 Researches on aquatic product price forecasting models in recent years

文献序号	预测目标	预测因子	模型结构	模型分类
[64]	鲢鱼价格	小波分解鲢鱼价格成分,5 个高频信号和 1 个低频信号	遗传算法优化的神经网络模型	一元预测模型
[65]	鲫鱼价格	月份、经度、纬度、人口密度、消费水平和鲫鱼价格	前馈神经网络	多元预测模型
[66]	河鲈、梭鲈和高白鲑价格	历史价格	小波神经网络	单一预测模型
[33]	水产品价格	前 p 期水产品价格, p 为自回归模型阶数	用时间序列分析法确定了自回归模型 (AR) 阶数,遗传算法优化支持向量机	组合预测模型

1.4.3 基于分类分析的水产养殖大数据挖掘

分类技术是通过观察大量数据后得出规则以建立类别模式,在水产养殖领域,许多场景都基于分类技术解决问题,如养殖环境多因素综合预警、疾病诊治、品质分级和异常行为检测等。常用的分类技术有决策树、支持向量机、神经网络、朴素贝叶斯分类、粗糙集分类等。

(1) 养殖环境多因素综合预警

传统的水质预警是基于水产品对各水质参数适应范围的先验知识,对水质演化的趋势、方向、速度预警,未能综合考虑各水质参数间的关联^[67-69]。而基于大数据技术的水产养殖环境多因素综合预警的特点在于能够关联水质数据和水文、气象等其他多源数据,对当前水质状况进行评价并对后续水质环

境进行不同时空尺度的分析预测^[70]。朱琼瑶等^[71]结合粗糙集理论和 D-S 证据理论实现了主客观知识结合的水质数据规律挖掘。刘双印等^[27]提出了粗糙集融合支持向量机 (RS-SVM) 的水质预警模型,粗糙集用于对 14 个预警指标的属性约简,得到 5 个核心预警指标构建 SVM 水质预警模型。LIU 等^[46]将物联网采集到的大量河蟹池塘养殖水环境数据与生产效益数据关联,建立了基于 Adaboost 的水质评价模型。

(2) 疾病诊治

早期的水产品疾病诊治方法主要是基于规则的推理和基于案例的方法,这两种方法的重点在于知识的表示和推理机的设计,难点在于知识库的自动获取和更新^[72-76]。表 8 总结了近年来基于

分类技术进行推理的疾病诊治方法。由表 8 可知:①由于数据驱动的机器学习算法能够解决传统疾病推理知识获取困难的不足,被广泛应用于鱼病诊治。②图像处理方法的发展使人们可以从图像中挖掘更多的信息,渐渐成为水产疾病诊治的主流方法。③为了提高诊治的精确度,许多研究采用了基于规则 and 基于数据共同建模的方法。另一方面,基于大数据技术对水产疾病诊治充分

利用计算能力,对多源数据进行综合考虑和联合分析。晏萍^[77]建立了水产动物疾病数据仓库,采用 OLAP 切块分析技术和决策树模型从时间维、症状维、环境维分析诊断水产病害。马冬萍等^[78]结合多 Agent 技术的智能性、自治性、协作性的优异性能以及分布式计算能力,构建了分布式鱼病诊断专家系统的体系结构,实现了跨区域的协同诊断。

表 8 基于分类技术的水产养殖疾病诊治模型对比

Tab.8 Comparison of the recent disease diagnosis models based on classification in aquaculture industry

文献序号	数据类型	分类方法	处理和优化	解决的问题	样本数
[79]	数值、图片、文本	基于案例的推理/ 支持向量机	加入了语义标注的过程	解决传统专家系统知识更新困难问题	动态增长
[80]	数值	融合分类算法	融合了朴素贝叶斯、前馈神经网络、 K 近邻、支持向量机等分类算法	提升了诊断的准确率	大量
[81]	数值	神经网络		弥补了基于规则推理知识获取困难的 不足	61
[82]	数值	模糊神经网络		处理症状与疾病之间的复杂性,模糊 性和随机性	
[83]	图片	RBF 神经网络	提取了纹理、形状和颜色等综合特征	提升了诊断的准确率	100
[84]	数值	模糊逻辑		处理症状与疾病之间的复杂性、模糊 性和随机性	31
[28]	数值	粗糙集理论		解决传统人工诊断生产效率低的问题	
[85]	图片	神经网络	使用 FAST 算法提取图像特征,使用 PCA 算法进行特征降维	提升了传统图像处理方法检测鱼病的 速度	大量

(3)品质分级

水产品因品种、重量、产地和上市时间的不同,风味和价格有较大差异,这也使得水产品在售 销过程中存在品质分级和质量追溯问题^[29]。品质分级是对水产品进行品种识别、大小(质量)估计和新鲜度评估等操作后,对水产品质量的分级评定。基本识别实现过程为:获取水产品图像、提取特征、构建分类器,并将特征向量输入分类器以实现种类识别^[86]。表 9 总结了近年来基于分类技术进行品质

分级的方法。由表 9 可知,近年来基于分类技术的水产养殖品质分级模型研究仍然集中于对鱼品种的分类,而分级分选、新鲜度评估等问题国内外研究都不多。由于计算机视觉技术的非接触性和非破坏性,在品质分级问题中被广泛使用。更重要的是,由于对数据关注度的提升和深度学习方法的流行,近年来研究中用于训练模型的样本数较之前的研究有大幅增加,大量的数据可以提升模型的精确度和降低对数据的要求。

表 9 基于分类技术的水产养殖品质分级模型对比

Tab.9 Comparison of the recent quality detection models based on classification in aquaculture industry

文献序号	解决问题	分类方法	数据类型	样本数
[87]	分级分选	线性判别分析	图片	90
[88]	鱼肉毒性识别	前馈神经网络	图片	610
[89]	鱼类品种识别	DAGMSVM	图片	590
[86]	鱼类品种识别	多核支持向量机	图片	312
[90]	鱼类品种识别	支持向量机	数值	1 000
[91]	检测鱼肉新鲜度	基于案例的分类	数值	2 240
[92]	检测鱼肉农药残留	支持向量机	图片	72
[93]	基于云的鱼类品种识别 APP	神经网络	图片	动态增长
[94]	鱼类品种识别	卷积神经网络	图片	3 777
[95]	鱼类品种识别	预训练卷积神经网络结合支持向量机	图片	27 370

(4)异常行为分析

温度、溶解氧的变化、寄生虫等都会造成水产品行为的改变,水产动物异常行为的检测能够为其健康监控与预警提供重要的方法和手段^[96]。水产动物异常行为分析通常采集大量的视频图像数据,通过对其位置的提取和运动轨迹的跟踪,得到行为活动特征,再通过各种相似度度量方法构建分类器,从而识别其异常行为。TAHA 等^[31]通过对摄食前、摄食中和摄食后鱼群进行监测,提取鱼群的密度和质心等特征,采用支持向量机分类对鱼群的饥饿行为进行了检测。王斌等^[32]应用经典人脸检测算法 Haar-like 特征和 Adaboost 算法结合检测三疣梭子蟹的蜕壳行为,成功实现了无沙背景的蜕壳自动检测,检测准确率达到 97.9%。程淑红等^[97]研究水质变化对红鲫鱼运动轨迹的影响,提取正常和异常水质中红鲫鱼的速度、加速度、曲率、邻近特征 4 个特征参数,输入支持向量机分类识别红鲫鱼的异常运动。

1.4.4 基于聚类分析的水产养殖大数据挖掘

聚类分析的目标是通过对无标记样本的学习来揭示数据内在的性质及规律,为进一步的数据分析提供基础。聚类分析依据数据相似度或者相异度将数据归属到若干类,使得同类中数据相似程度较高,而各类间相似程度较小,它是一个无监督的分类,不需要其他先验知识,是一种典型的数据驱动建模方法^[98-102]。在水产养殖数据分析中,聚类技术的应用远不如分类技术和预测技术广泛,主要应用是在水产疾病诊治和鱼类种类识别时采用聚类原则构建分类器,实现对特征库的特征以及图像库中影像的自动分类。HAN 等^[103]在对斑氏蟹、盲蛛蟹及两者杂交的螃蟹图像进行识别时,引入聚类技术以最小化特征图像分类器的错误分类率,采用改进线性判别分析和二次判别分析法构建了分类器。YAO 等^[30]提出了一种将 K 均值聚类分割算法与数学形态学相结合鱼类图像分割方法,选取灰度直方图拟合曲线的峰的数量作为聚类中心的数量。HU 等^[47]提出了一种基于模糊 C 均值聚类的分割常见鱼类疾病的方法,该方法具有较强的鲁棒性和快速的分割能力,能够精确分割鲤鱼常见病的彩色图像。另外,聚类分析常与其他算法整合,将聚类结果作为后续分析的输入。如宦娟等^[57]在养殖水质溶解氧预测时,采用 K-means 聚类方法将历史日样本划分为若干类,然后分类识别获得与预测日最相似的一类历史日样本集,将其与预测日的实测环境因素作为预测模型的输入样本建立 ELM 神经网络溶解氧预测模型。该方法通过聚类降低了不同趋势样本间的干扰,能够挖掘出溶解氧数据的固有规律,提高预测

数据源的准确性。

1.4.5 基于关联规则分析的水产养殖大数据挖掘

关联规则分析在商业领域的成功应用使其成为人所熟知的大数据分析算法,它的任务是分析寻找变量的取值之间存在的规律性。随着数据量的增大,经典 Apriori 算法遇到瓶颈,为解决这一问题,研究者们提出并行、增量和基于先验知识压缩候选集的方法^[104-105]。但在水产养殖领域,关联规则挖掘的应用非常贫乏,有待进一步的深化研究。王立华等^[106]改进了 Apriori 关联规则算法并用其对 Web 进行日志挖掘,分析了渔业科学数据共享平台用户频繁访问模式,设计并开发了渔业信息推荐系统。陈志民等^[107]通过提取珠海斗门大宗水产品常见病害和常见鱼病的特征,采用 Apriori 算法从收集的病害资料中提取珠海斗门大宗水产品常见病害和常见鱼病的关联规则。朱文君^[43]提出了基于优化加权概念格关联规则挖掘算法并将此算法应用于副溶血性弧菌的风险评价,发现未经加热而生食的食用方式是副溶血性弧菌污染的重要因素。

1.4.6 基于深度学习的水产养殖大数据挖掘

大数据分析的一个核心问题是如何对数据进行有效表达、解释和学习,深度学习利用层次化的架构学习出对象在不同层次上的表达,这种层次化的表达可以帮助解决更加复杂抽象的问题。以海量数据训练分析模型,自动抽取数据中蕴含的特征,理论上可以通过深度学习算法获得对现实世界的一切过程进行数学表达^[108-109]。在水产养殖领域,深度学习被用于处理鱼类图像,从而检测鱼类异常行为和自动鱼类种类识别。李庆武等^[110]提出了一种基于深度学习网络的鱼群异常行为识别方法,从视频信息中提取图像,结合时空图像处理手段,可以对视频中的鱼群行为进行分类,从而判断鱼群行为是否正常。林明旺^[94]利用卷积神经网络能在训练过程中自动学到“好”特征,避免了手动选择特征的特性,设计了一种基于卷积神经网络的鱼类图像分类系统,该系统分类准确率达到 96.99%。顾郑平等^[95]提出了基于卷积神经网络的分类模型和基于迁移学习的 PreCNN 和 SVM 分类模型,对 23 类深海鱼种识别准确率达 98.6%。

1.5 水产养殖大数据平台

水产养殖大数据平台是面向水产养殖全产业链开展决策与服务的软件工具,在水产养殖生产、经营、管理、服务等各个环节,为经营主体提供生产决策、经营服务,为政府部门提供决策支持和行业服务。目前构建的水产养殖大数据平台主要包括生产管理平台、电子商务平台、智能决策平台和品质追溯

平台^[111-112]。但是这些平台仍不足以构成真正“平台”,主要问题是它们职能单一,相互封闭,也没有与政府管理平台进行对接,缺乏行业整体解决方案。

(1)生产管理平台

水产养殖生产管理平台利用物联网感知和互联网技术,实现水产养殖全产业链的各环节数据和信息的全程信息化监管,规范水产养殖操作流程,提高水产养殖管理水平,完善品质追溯环节,由中国农业大学宜兴农业物联网工程中心研发的水产养殖物联网平台就是典型代表^[37-38]。政府的渔业产业管理平台采集全国定点县渔业生产基本数据、投入产出数据和存塘数据,实现对全国养殖渔情的数据监管,中国农业大学与全国水产技术推广总站研发的全国养殖渔情云服务平台是典型代表^[39,113]。水产养殖企业生产管理平台通过分布式的架构,实现水质实时监控、设备管理、池塘管理、日常操作管理、库存管理、销售管理和专家咨询服务等功能^[42,44]。张清春等^[114]通过对水产养殖日志实际管理环节的分析,设计管理系统对水产养殖对象的引入到出售进行养殖环境、饲料、养殖管理、用药情况等进行全程的跟踪记录,对记录数据根据需要自动形成丰富的分析报告、图表。但现有水产养殖生产管理平台存在数据无法覆盖全产业链、所提供的功能有限和各生产环节无法协同和衔接的问题,无法对生产过程进行有效监管。

(2)电子商务平台

销售是水产养殖产业链的重要环节。构建水产养殖电子商务平台,可以为养殖户、经销商和消费者提供针对性服务,使市场更加高效公平有序,产品质量受到监督,养殖户利益得到保障^[115]。目前,水产品线上交易额虽然已经达每年十几亿以上的规模,还提供了竞拍、众筹、团购以及期货交易等经营模式,但是水产养殖电子商务平台的功能仍不完善^[116],数据的收集和管理欠缺,无法形成全产业链产品质量信息追溯,也无法提供专业的数据分析服务。因此,一些水产销售商进驻了淘宝、京东等电子商务平台。淘宝聚石塔电子商务平台提供云服务器(Elastic compute service, ECS)、开放数据处理服务(Open data processing service, ODPS)、分布式关系型数据库服务(Distribute relational database service, DRDS)等服务,对于食品行业商品提出全产业链解决方案^[117]。

(3)智能决策平台

表 10 从决策内容、推理机设计和是否可以进行知识发现 3 方面总结了现有的决策支持系统,它们大多数都可以提供水质管理、投喂决策和病害诊断

等综合决策,但只有少数具备知识发现功能。

表 10 现有决策支持平台比较

Tab. 10 Comparison of existing decision support systems

文献序号	决策内容	推理机设计	是否可以进行知识发现
[118]	投喂决策	线性规划;遗传算法	否
[119]	投喂决策	产生式规则与案例综合推理	否
[77]	病害诊断	多维指标切片分析	是
[120]	综合决策	贝叶斯网络	是
[121]	综合决策	产生式规则	否
[122]	综合决策	产生式规则	否
[123]	病害决策	专家群决策机制	否

(4)品质追溯平台

水产品品质追溯平台采集水产品在进行加工、仓储、运输和销售环节的品质参数,采用射频识别(RFID)技术和统一的编码技术对水产品进行唯一标识,从而对水产品的质量进行管理和追溯。目前研究者们提出了一些水产品品质追溯平台的构建方案,袁红春等^[124]提出了一种基于 RFID 的 Petri 网的水产品全程质量追踪和溯源系统,颜波等^[35]基于 RFID 和产品电子代码物联网技术开发了水产品供应链可追溯平台,杨信廷等^[36]基于 USB Key 的水产品监管码密钥动态分配技术,生成了融合一维码、二维码的水产品混合条码标签,从而建立了水产养殖产品质量追溯平台。

2 水产养殖大数据技术面临的挑战

(1)水产养殖大数据资源缺乏、共享程度低

数据采集技术发展和产业规模化程度限制了水产养殖大数据的可获取性。水产动物的生物多样性及其生长环境的复杂性对数据获取提出了挑战,目前许多研究都是在实验室环境下进行的,自然环境条件下的视频图像采集,如鱼病发病过程和鱼类异常行为等数据采集一直是水产养殖大数据的瓶颈。另一方面,水产养殖经营主体规模性小且分散,生产数据分散在养殖户和养殖企业手中,仅限于内部使用。由于缺乏适合水产养殖产业特点的数据共享模式与管理机制,跨企业、跨行业的数据共享仍不顺畅,有价值的公共信息资源和商业数据开放程度低,政府、养殖企业和养殖户个体各自形成信息孤岛。

(2)水产养殖智能化分析模型与技术缺乏

互联网和物联网技术的发展大大丰富了水产养殖大数据的来源,水产养殖大数据基础已经形成,然而水产养殖大数据研究的智能化程度仍需进一步提升。目前大数据技术与水产养殖领域的结合仍处于

磨合期,简单地套用现有智能方法,而对水产养殖领域特点关注不足,这导致水产养殖大数据分析的实用性落后于市场需求,远不能满足实际生产。提升水产养殖产业的智能化程度,还需要在关键的智能化技术上取得突破,增加深度学习、知识计算、群智计算和混合智能等技术在水产养殖上应用的深度和广度。

(3)水产养殖数据缺乏全产业链的关联性分析
当前对水产养殖大数据研究只关注生产单一或局部的过程,缺乏横向关联性和纵向关联性,没有水产养殖全行业的解决方案。一方面,数据本身缺乏时空关联性,加上大数据技术水产养殖各方面应用深度不一导致的数据规模和数据质量有差异,数据链条无法对应和协同,无法形成多方面问题的关联分析。另一方面,水产养殖产前、产中和产后的数据相互割裂而无法贯通产业链,也难以发掘其中隐含的关联,如无法形成全产业链的水产品质量追溯。

3 发展趋势展望与建议

目前水产养殖大数据建设还处于探索阶段,没有成熟的建设模式可供借鉴,但水产养殖业数字化、精准化、智能化的重大需求和大数据技术迅猛发展的态势为水产养殖大数据技术发展提供了一次重要机遇。未来水产养殖大数据技术的研究将主要从如下几方面展开:

(1)通过物联网使水产养殖大数据获取更加自动化

随着数据采集技术的提升,水产养殖业可以量化指标大大提升,数据采集对象、采集范围和采集方式都逐渐增加,实现对水产养殖全产业链的全时全程感知和数字化获取。整合水产养殖全产业链数据,通过构建大数据共享平台,实现全行业甚至跨行业数据的交换和共享。

(2)通过人工智能使水产养殖大数据应用更加智能化

随着深度学习、知识计算、群体智能等人工智能技术在水产养殖领域深层次运用,大数据技术将更适应水产养殖领域的具体需求,对水产养殖大数据研究和分析更加深入,从而真正实现精准化、智能化水产养殖。

(3)通过区块链实现水产养殖大数据应用产业链链条化

随着大数据技术在水产养殖全产业链应用范围的扩大,通过区块链技术达成全行业共识机制,研究实现水产养殖生产效益对生产过程的“反馈调节”,建立综合产业链全要素、面向产业链全过程的联动分析,形成数据驱动的产业发

(4)通过标准体系建设实现水产养殖大数据标准化

随着水产养殖业数据获取范围的扩展和数据获取技术的提高,数据规模化增长,研究构建标准化的适宜本领域的大数据管理体系,促成制定数据标准、应用接口标准、测试标准和维护标准迫在眉睫。

4 结束语

大数据技术已经成为水产养殖全产业链向集约化、精准化和智能化发展的关键技术。在这样的大背景下,近年来,国家出台了一系列强有力的政策措施,开展大数据关键技术研究,加强大数据技术在农业生产、经营、管理和服务等方面的创新应用,这些都为水产养殖大数据的发展提供了难得的历史机遇和良好的发展环境。数据是根本,分析是核心,利用大数据技术提高水产养殖综合生产力和效益是最终目的,应深度挖掘现实需求,整合水产养殖全产业链数据,加强基础理论和核心关键技术研究,从而推进大数据技术与水产养殖产业的深度融合与应用,支撑我国水产养殖业彻底转型升级。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国国务院. 促进大数据发展行动纲要[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-09/05/content_10137.htm, 2015-08-31.
- 2 程学旗, 靳小龙, 王元卓, 等. 大数据系统和分析技术综述[J]. 软件学报, 2014, 25(9): 1889-1908.
CHENG Xueqi, JIN Xiaolong, WANG Yuanzhuo, et al. Survey on big data system and analytic technology[J]. Journal of Software, 2014, 25(9): 1889-1908. (in Chinese)
- 3 BIMBA A T, IDRIS N, ALHUNAIIYYAN A, et al. Towards knowledge modeling and manipulation technologies: a survey [J]. International Journal of Information Management, 2016, 36(6): 857-871.
- 4 HEINZE T, ANIELLO L, QUERZONI L, et al. Cloud-based data stream processing[C] // ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems, 2014: 238-245.
- 5 KIM H G, PARK Y H, YANG H C, et al. Time-slide window join over data streams [J]. Journal of Intelligent Information Systems, 2014, 43(2): 323-347.
- 6 中国计算机学会大数据专家委员会. 中国大数据技术与产业发展白皮书[EB/OL]. <http://dl.ccf.org.cn/books/detail>.

- html? id = 3812216177936384, 2013 - 12 - 01.
- 7 缪新颖, 邓光辉, 高艳萍. 数据融合在水产养殖监控系统中的应用[J]. 大连海洋大学学报, 2009, 24(5):436 - 438.
MIAO Xinying, DENG Changhui, GAO Yanping. Application of data fusion in an aquaculture supervisory system [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(5):436 - 438. (in Chinese)
- 8 陈明, 朱文婷, 周汝雁, 等. BP 神经网络信息融合技术在水质监控中的应用[J]. 微计算机信息, 2010, 26(10):15 - 17.
CHEN Ming, ZHU Wenting, ZHOU Ruyan, et al. The application of information fusion technology based on BP neural network in water monitoring[J]. Microcomputer Information, 2010, 26(10):15 - 17. (in Chinese)
- 9 毛力, 肖炜, 杨弘. 用信息融合技术改进水产养殖水质监控系统[J]. 水产学杂志, 2015(2):55 - 58.
- 10 HASSAN S G, HASAN M, LI D L. Information fusion in aquaculture: a state-of the art review[J]. Frontiers of Architectural Research, 2016, 3(3):1 - 16.
- 11 覃雄派, 王会举, 李芙蓉, 等. 数据管理技术的新格局[J]. 软件学报, 2013, 24(2):175 - 197.
QIN Xiongpai, WANG Huiju, LI Furong, et al. New landscape of data management technologies [J]. Journal of Software, 2013, 24(2):175 - 197. (in Chinese)
- 12 DECANDIA G, HASTORUN D, JAMPANI M, et al. Dynamo: Amazon's highly available key-value store[J]. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 2007, 41(6):205 - 220.
- 13 KUMAR R, PARASHAR B B, GUPTA S, et al. Apache hadoop, NoSQL and NewSQL solutions of big data [C] // International Journal of Advance Foundation and Research in Science & Engineering, 2014.
- 14 ZHU X F, HUANG Z, SHEN H T, et al. Linear cross-modal hashing for efficient multimedia search[C] // Proceedings of the 21st ACM International Conference on Multimedia, Barcelona, 2013:143 - 152.
- 15 KARUN A K, CHITHARANJAN K. A review on hadoop-HDFS infrastructure extensions[C] // Information & Communication Technologies. IEEE, 2013:132 - 137.
- 16 于喆. 渔业大数据综述[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(9):211 - 213.
YU Zhe. Review of fishery big data[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(9):211 - 213. (in Chinese)
- 17 李道亮, 杨昊. 农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(1):1 - 20. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20180101&journal_id = jesam. DOI:10.6041/j. issn. 1000-1298. 2018. 01. 001.
LI Daoliang, YANG Hao. State-of-the-art review for internet of things in agriculture[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(1):1 - 20. (in Chinese)
- 18 王东雨, 郑纪业, 王迪, 等. 我国水产大数据及应用技术研究初探[J]. 山东农业科学, 2016, 48(10):152 - 156.
WANG D Y, ZHENG J Y, WANG D, et al. Primary research of fishery big data and application technology in China[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2016, 48(10):152 - 156. (in Chinese)
- 19 JAMBI S, ANDERSON K M. Engineering scalable distributed services for real-time big data analytics [C] // IEEE Third International Conference on Big Data Computing Service and Applications. IEEE, 2017:131 - 140.
- 20 Apache Storm. Why use Storm[EB/OL]. <http://storm.incubator.apache.org/>, 2018 - 02 - 19.
- 21 吉奥兹, 奥尼尔. Storm 分布式实时计算模式[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- 22 孟小峰, 慈祥. 大数据管理: 概念、技术与挑战[J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(1):146 - 169.
MENG X F, CI X. Big data management: concepts, techniques and challenges [J]. Journal of Computer Research & Development, 2013, 50(1):146 - 169. (in Chinese)
- 23 KANG G, GAO J Z, XIE G. Data-driven water quality analysis and prediction: a survey [C] // IEEE Third International Conference on Big Data Computing Service and Applications. IEEE, 2017:224 - 232.
- 24 ZHU X F, ZHANG S, HU R, et al. Local and global structure preservation for robust unsupervised spectral feature selection[J]. IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering, 2018, 30(3):517 - 529.
- 25 XU L Q, LIU S Y, LI D L. Prediction of water temperature in prawn cultures based on a mechanism model optimized by an improved artificial bee colony[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2017, 140:397 - 408.
- 26 CHEN Y Y, CHENG Y J, CHENG Q Q, et al. Short-term prediction model for ammonia nitrogen in aquaculture pond water based on optimized LSSVM[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2017, 26(3):416 - 427.
- 27 刘双印, 徐龙琴, 李道亮. 基于粗糙集融合支持向量机的水质预警模型[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(6):1617 - 1624.
LIU S Y, XU L Q, LI D L. Water quality early-warning model based on support vector machine optimized by rough set algorithm [J]. System Engineering—Theory & Practice, 2015, 35(6):1617 - 1624. (in Chinese)
- 28 田野, 方磊, 魏芳芳, 等. 基于物联网的南美白对虾环境监控系统设计[J]. 渔业信息与战略, 2017, 32(1):38 - 43.
- 29 HONG H, YANG X, YOU Z, et al. Visual quality detection of aquatic products using machine vision [J]. Aquacultural Engineering, 2014, 63(63):62 - 71.
- 30 YAO H, DUAN Q L, LI D L, et al. An improved k-means clustering algorithm for fish image segmentation[J]. Mathematical & Computer Modelling, 2013, 58(3 - 4):784 - 792.
- 31 TAHA Z, RAZMAN M A M, ADNAN F A, et al. The identification of hunger behaviour of lates calcarifer through the integration

- of image processing technique and support vector machine[C] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 319(1): 12–28.
- 32 王斌, 徐建瑜, 王春琳. 基于计算机视觉的梭子蟹蜕壳检测及不同背景对蜕壳的影响[J]. 渔业现代化, 2016, 43(2): 11–16.
- 33 段青玲, 张磊, 魏芳芳, 等. 基于时间序列 GA-SVR 的水产品价格预测模型及验证[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 308–314.
- DUAN Q L, ZHANG L, WEI F F, et al. Forecasting model and validation for aquatic product price based on time series GA-SVR[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(1): 308–314. (in Chinese)
- 34 樊旭兵. 大数据时代的罗非鱼内销[J]. 海洋与渔业·水产前沿, 2014(1): 26–27.
- 35 颜波, 石平, 黄广文. 基于 RFID 和 EPC 物联网的水产品供应链可追溯平台开发[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 172–183.
- YAN B, SHI P, HUANG G W. Development of traceability system of aquatic foods supply chain based on RFID and EPC internet of things[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(15): 172–183. (in Chinese)
- 36 杨信廷, 吴滔, 孙传恒, 等. 基于 USB Key 的水产品企业监管溯源系统设计与应用[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(8): 128–133. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20120824&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.08.024.
- YANG X T, WU T, SUN C H, et al. Design and application of aquatic enterprise governance traceability system based on USB Key[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(8): 128–133. (in Chinese)
- 37 TAI H J, LIU S Y, LI D L, et al. A multi-environmental factor monitoring system for aquaculture based on wireless sensor networks[J]. Sensor Letters, 2012, 10(1): 265–270.
- 38 YU H H, CHEN Y Y, HASSAN S, et al. Dissolved oxygen content prediction in crab culture using a hybrid intelligent method[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 1–10.
- 39 农业部. 农业部关于 2016—2017 年度神农中华农业科技奖的表彰决定[EB/OL]. http://jiuban.moa.gov.cn/zwillm/tzgg/tz/201712/t20171207_5966881.htm, 2017–12–05.
- 40 YANG Y M, TSONG C, TSOU F. Aquaculture cloud management system[J]. Journal of Information Technology and Applications, 2014, 8(2): 75–79.
- 41 刘光明, 邢克智, 田云臣, 等. 基于云计算的水产集约化养殖信息平台构建[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(12): 248–251.
- 42 CHEN Y J, LIU P X, JIANG B H, et al. The design of water quality monitoring cloud platform based on BS architecture[C] // International Conference on Computational Science and Engineering, 2016.
- 43 朱文君. 构造概念格的权值优化改进算法研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- 44 王新安. 基于云服务的智慧水产养殖平台的研究与实现[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2017.
- 45 SHI B, XU K, JIANG J M. Arrangement of sensor nodes for wireless sensor network in aquatic products breeding[J]. Advanced Materials Research, 2014, 989–994: 3433–3436.
- 46 LIU Y R, DUAN Q L, ZHANG L. Evaluation model for water environment of Eriocheir sinensis ponds based on AdaBoost classifier[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2017, 26(3): 340–348.
- 47 HU J, LI D L, DUAN Q L, et al. A fuzzy c-means clustering based algorithm to automatically segment fish disease visual symptoms[J]. Sensor Letters, 2012, 10(1): 190–197.
- 48 SUN Y, LI D L, DU S, et al. WSN-based intelligent detection and control of dissolved oxygen in crab culture[J]. Sensor Letters, 2013, 11(6): 1050–1054.
- 49 LIU S Y, TAI H J, DING Q, et al. A hybrid approach of support vector regression with genetic algorithm optimization for aquaculture water quality prediction[J]. Mathematical & Computer Modelling, 2013, 58(3–4): 458–465.
- 50 刘双印, 徐龙琴, 李道亮, 等. 基于蚁群优化最小二乘支持向量回归机的河蟹养殖溶解氧预测模型[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 167–175.
- LIU S Y, XU L Q, LI D L, et al. Dissolved oxygen prediction model of Eriocheir Sinensis culture based on least squares support vector regression optimized by ant colony algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(23): 167–175. (in Chinese)
- 51 LIU S Y, XU L Q, LI D L, et al. Prediction of dissolved oxygen content in river crab culture based on least squares support vector regression optimized by improved particle swarm optimization[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2013, 95(4): 82–91.
- 52 刘双印, 徐龙琴, 李道亮, 等. 基于时间相似数据的支持向量机水质溶解氧在线预测[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 155–162.
- LIU S Y, XU L Q, LI D L, et al. Online prediction for dissolved oxygen of water quality based on support vector machine with time series similar data[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(3): 155–162. (in Chinese)
- 53 LIU S Y, XU L Q, JIANG Y, et al. A hybrid WA-CPSO-LSSVR model for dissolved oxygen content prediction in crab culture[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2014, 29(3): 114–124.
- 54 YANG Y T, TAI H J, LI D L. Real-time optimized prediction model for dissolved oxygen in crab aquaculture ponds using back propagation neural network[J]. Sensor Letters, 2014, 12(3): 723–729.
- 55 CHEN Y Y, XU J, YU H H, et al. Three-dimensional short-term prediction model of dissolved oxygen content based on PSO-

- BPANN algorithm coupled with kriging interpolation[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016:1 – 10.
- 56 朱成云, 刘星桥, 李慧, 等. 工厂化水产养殖溶解氧预测模型优化[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(1):273 – 278. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160137&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.037.
- ZHU C Y, LIU X Q, LI H, et al. Optimization of prediction model of dissolved oxygen in industrial aquaculture [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1):273 – 278. (in Chinese)
- 57 宦娟, 刘星桥. 基于 K-means 聚类 and ELM 神经网络的养殖水质溶解氧预测[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17):174 – 181.
- HUAN J, LIU X Q. Dissolved oxygen prediction in water based on K-means clustering and ELM neural network for aquaculture [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(17):174 – 181. (in Chinese)
- 58 刘双印, 徐龙琴, 李振波, 等. 基于 PCA – MCAFA – LSSVM 的养殖水质 pH 值预测模型[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(5):239 – 246. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20140537&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.05.037.
- LIU S Y, XU L Q, LI Z B, et al. Forecasting model for pH value of aquaculture water quality based on PCA – MCAFA – LSSVM [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(5):239 – 246. (in Chinese)
- 59 徐龙琴, 李乾川, 刘双印, 等. 基于集合经验模态分解和人工蜂群算法的工厂化养殖 pH 值预测[J]. 农业工程学报, 2016, 32(3):202 – 209.
- XU L Q, LI Q C, LIU S Y, et al. Prediction of pH value in industrialized aquaculture based on ensemble empirical mode decomposition and improved artificial bee colony algorithm [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(3):202 – 209. (in Chinese)
- 60 LIU S Y, XU L Q, LI D L. Multi-scale prediction of water temperature using empirical mode decomposition with back-propagation neural networks[J]. Computers & Electrical Engineering, 2016, 49:1 – 8.
- 61 徐大明, 周超, 孙传恒, 等. 基于粒子群优化 BP 神经网络的水产养殖水温及 pH 预测模型[J]. 渔业现代化, 2016, 43(1):24 – 29.
- XU Daming, ZHOU Chao, SUN Chuanheng, et al. Prediction model of aquaculture water temperature and pH based on BP neural network optimized by particle swarm algorithm[J]. Fishery Modernization, 2016, 43(1):24 – 29. (in Chinese)
- 62 丁金婷, 臧泽林, 黄敏. 模糊方法改进的反向传输神经网络预测南美白对虾养殖的水质[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2017, 43(1):128 – 136.
- DING J T, ZANG Z L, HUANG M. Penaeus vannamei aquaculture water quality prediction based on the improved back propagation neural network[J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2017, 43(1):128 – 136. (in Chinese)
- 63 CHANDANAPALLI S B, REDDY E S, LAKSHMI D R. FTDT: rough set integrated functional tangent decision tree for finding the status of aqua pond in aquaculture [J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2017, 32(3):1821 – 1832.
- 64 胡涛. 基于非参数的水产品价格预测系统研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- 65 贺艳辉. 基于 BP 人工神经网络水产品价格预测的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- 66 LI H W, GAO X X, CHENG K J. The application of wavelet neural network in prediction of the fish price [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 687 – 691: 1945 – 1949.
- 67 于承先, 徐丽英, 邢斌, 等. 集约化水产养殖水质预警系统的设计与实现[J]. 计算机工程, 2009, 35(17):268 – 270.
- YU Chengxian, XU Liying, XING Bin, et al. Design and implementation of intensive aquaculture water quality early warning system[J]. Computer Engineering, 2009, 35(17):268 – 270. (in Chinese)
- 68 周慧. 河蟹养殖环境监测及预警模型研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- 69 胡金有, 王靖杰, 张小栓, 等. 水产养殖信息化关键技术研究现状与趋势[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(7):251 – 263. http://www.j-csam.org/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150737&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.037.
- HU J Y, WANG J J, ZHANG X S, et al. Research status and development trends of information technologies in aquacultures[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7):251 – 263. (in Chinese)
- 70 王瑞梅, 何有缘, 傅泽田. 淡水养殖池塘水质预警模型[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(1):84 – 88.
- 71 朱琼瑶, 张光新, 冯天恒, 等. 基于粗糙集和证据理论的水质分析预警技术研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2012, 38(6):747 – 754.
- 72 ZHU W, LI D L. A CBR system for fish disease diagnosis[J]. International Federation for Information Processing, 2008, 259: 1453 – 1457.
- 73 SHI Y, GAO W, HU L, et al. The meta-ontology model of the fishdisease diagnostic knowledge based on OWL [M] // Computer and Computing Technologies in Agriculture (II), Springer US, 2008:1415 – 1422.
- 74 YUAN H, YANG Y, CHEN Y. Crab-expert: a web-based ES for crab farming [C] // International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. IEEE, 2007:1 – 5.
- 75 ZHANG X S, FU Z T, CAI W, et al. Applying evolutionary prototyping model in developing FIDSS: an intelligent decision support system for fish disease/health management [J]. Expert Systems with Applications An International Journal, 2009,

- 36(2):3901–3913.
- 76 温继文, 李道亮, 陈梅生, 等. 基于 UML 的鱼病远程监测预警与诊断系统[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊 2):166–171.
- WEN Jiwen, LI Daoliang, CHEN Meisheng, et al. UML-based remote monitoring and early warning system for fish diseases diagnosis[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(Supp. 2):166–171. (in Chinese)
- 77 晏萍. 基于数据仓库的水产动物疾病诊断系统研究与实现[D]. 上海:复旦大学, 2006.
- 78 马冬萍, 陈明, 陈文娜. 基于 MAS 鱼病诊断专家系统的设计与应用[J]. 计算机应用与软件, 2014(2):96–99.
- 79 LOU Dongmei, CHEN Ming, YE Jiechao. Study on a fish disease case reasoning system based on image retrieval[C] // International Conference on Computers and Computing Technologies in Agriculture, 2007:887–893.
- 80 WU Y H, LIU J. A new method for fish disease diagnosis system based on rough set and classifier fusion[C] // IEEE Artificial Intelligence and Computational Intelligence, Shanghai, 2009.
- 81 LOPES J N S, GONANDCCEDILALVES A N A, FUJIMOTO R Y, et al. Diagnosis of fish diseases using artificial neural networks[J]. International Journal of Computer Science Issues, 2011, 8(6):68–74.
- 82 DENG C H, LIN X, GU J. Expert system for fish disease diagnosis based on fuzzy neural network[C] // IEEE Third International Conference on Intelligent Control and Information Processing. IEEE, 2012:146–149.
- 83 YAO H, DUAN Q L. The diseased fish recognition technology based on consolidated feature[J]. Sensor Letters, 2014, 12(3):678–683.
- 84 HANAFIAH N, SUGIARTO K, ARDY Y, et al. Expert system for diagnosis of Discus fish disease using fuzzy logic approach[C] // IEEE International Conference on Computer and Communications, 2016:56–61.
- 85 MALIK S, KUMAR T, SAHOO A K. Image processing techniques for identification of fish disease[C] // IEEE International Conference on Signal and Image Processing. IEEE, 2017:55–59.
- 86 吴一全, 殷骏, 戴一冕, 等. 基于蜂群优化多核支持向量机的淡水鱼种类识别[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16):312–319.
- WU Y Q, YIN J, DAI Y M, et al. Identification method of freshwater fish species using multi-kernel support vector machine with bee colony optimization[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(16):312–319. (in Chinese)
- 87 MISIMI E, ERIKSON U, SKAVHAUG A. Quality grading of Atlantic salmon (*Salmo salar*) by computer vision [J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5):211–217.
- 88 ALSMADI M K, OMAR K B, NOAH S A M. Fish classification based on robust features extraction from color signature using back-propagation classifier[J]. Journal of Computer Science, 2011, 7(1):52–58.
- 89 HU J, LI D L, DUAN Q L, et al. Fish species classification by color, texture and multi-class support vector machine using computer vision[J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2012, 88(4):133–140.
- 90 MUHAMMAD S N, NURUL H Z, NURDIYANA Z, et al. Fish quality study using ordoor-profile case-based reasoning classification technique[J]. ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences, 2016, 11(10):6692–6696.
- 91 杜伟东, 李海森, 魏玉阔, 等. 基于 SVM 的决策融合鱼类识别方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2015, 36(5):623–627.
- DU W D, LI H S, WEI Y K, et al. Decision fusion fish identification using SVM and its experimental study[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2015, 36(5):623–627. (in Chinese)
- 92 DUTTA M K, SENGAR N, KAMBLE N, et al. Image processing based technique for classification of fish quality after cypermethrine exposure[J]. LWT—Food Science and Technology, 2016, 68:408–417.
- 93 ROSSI F, BENSO A, CARLO S D, et al. FishAPP: a mobile APP to detect fish falsification through image processing and machine learning techniques[C] // IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. IEEE, 2016:1–6.
- 94 林明旺. 基于卷积神经网络的鱼类图像识别与分类[J]. 电子技术与软件工程, 2017(6):82–83.
- 95 顾郑平, 朱敏. 基于深度学习的鱼类分类算法研究[J]. 计算机应用与软件, 2018(1):200–205.
- 96 于欣, 侯晓娇, 卢焕达, 等. 基于光流法与特征统计的鱼群异常行为检测[J]. 农业工程学报, 2014, 30(2):162–168.
- YU X, HOU X J, LU H D, et al. Anomaly detection of fish school behavior based on features statistical and optical flow methods [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(2):162–168. (in Chinese)
- 97 程淑红, 刘洁, 李雷华. 基于鱼类运动行为的水质异常评价因子研究[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(8):1759–1766.
- 98 XUE Z, SHEN G, XU Q, et al. Compression-aware I/O performance analysis for big data clustering[C] // International Workshop on Big Data, Streams and Heterogeneous Source Mining: Algorithms, Systems, Programming MODELS and Applications. ACM, 2012:45–52.
- 99 HAVENS T C, BEZDEK J C, LECKIE C, et al. Fuzzy c-means algorithms for very large data[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2012, 20(6):1130–1146.
- 100 孙吉贵, 刘杰, 赵连宇. 聚类算法研究[J]. 软件学报, 2008, 19(1):48–61.
- SUN J G, LIU J, ZHAO L Y. Clustering algorithms research[J]. Journal of Software, 2008, 19(1):48–61. (in Chinese)
- 101 ZHU X F, ZHANG L, HUANG Z. A sparse embedding and least variance encoding approach to hashing[J]. IEEE Trans Image Process, 2014, 23(9):3737–3750.

- 102 ZHU X F, LI X, ZHANG S, et al. Graph PCA hashing for similarity search[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2017, 19(9):2033 – 2044.
- 103 HAN K J, TEWFIK A H. Expert computer vision based crab recognition system[C]// International Conference on Image Processing Proceedings IEEE, 2001,2:649 – 652.
- 104 AGRAWAL R, SRIKANT R. Fast algorithms for mining association rules in large databases[C]// International Conference on Very Large Data Bases. Morgan Kaufmann Publishers Inc. , 1994:487 – 499.
- 105 何清, 李宁, 罗文娟, 等. 大数据下的机器学习算法综述[C]// 中国计算机学会人工智能会议, 北京, 2013.
- 106 王立华, 肖慧, 徐硕, 等. 基于关联规则的渔业信息推荐系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7):124 – 130.
- 107 陈志民, 李亭, 杨敬锋, 等. 珠海市斗门区水产品病害网络诊断与防治系统算法设计[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(17):9348 – 9349.
- 108 GOODFELLOW I, BENGIO Y, COURVILLE A. Deep learning[M]. Cambridge: The MIT Press, 2016.
- 109 BOJNORDI M N, IPEK E. Memristive boltzmann machine: a hardware accelerator for combinatorial optimization and deep learning: international architecture-proceedings[C]//IEEE, Symposium on High-Performance Computing, NEW YORK, 2016: 1 – 13.
- 110 李庆武, 俞楷, 许金鑫, 等. 基于深度学习网络模型的鱼群异常行为识别方法: 201510434598 [P]. 2015 – 07 – 22.
- 111 HUANG J, MENG X, XIE Q, et al. Complete sets of aquaculture automation equipment and their monitoring cloud platform [J]. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, 691: 429 – 435.
- 112 FENG Y, WANG X N, LI H T. Research and construction of intelligent service platform for aquaculture [C]//5th International Conference on Frontiers of Manufacturing Science and Measuring Technology, 2017, 130:801 – 804.
- 113 魏芳芳, 段青玲, 肖晓琰, 等. 基于支持向量机的中文农业文本分类技术研究[J/OL]. 农业机械学报, 2015,46(增刊): 174 – 179. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2015S029&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.S0.029.
- WEI F F, DUAN Q L, XIAO X Y, et al. Classification technique of chinese agricultural text information based on SVM[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(Supp.):174 – 179. (in Chinese)
- 114 张青春, 宋武林. 水产养殖生产日志管理系统的设计[J]. 福建电脑, 2011, 27(8):124 – 125.
- 115 周一敏. 大数据时代我国农产品电子商务平台模式研究[J]. 科技资讯, 2016, 14(25):15.
- 116 兴化市政府. 中国蟹库网通过“中国河蟹第一电商交易网”评审[EB/OL]. http://www.xinghua.gov.cn/art/2017/6/7/art_8195_419827.html, 2017 – 06 – 07.
- 117 阿里. 阿里聚石塔[EB/OL]. <http://cloud.taobao.com/>, 2018 – 03 – 15.
- 118 徐丽英, 于承先, 邢斌, 等. 基于 PDA 的集约化水产饲料投喂决策系统[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊 2):250 – 254.
- XU L Y, YU C, XING B, et al. PDA-based aquaculture feeding decision support system[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(Supp. 2):250 – 254. (in Chinese)
- 119 ZHANG M, XUE H, WANG L, et al. A decision support system for fish feeding based on hybrid reasoning[J]. IFIP Advances in Information & Communication Technology, 2016, 392:19 – 26.
- 120 王超. 基于 Weka 辅助的中华绒螯蟹设施养殖物联网决策支持系统设计[D]. 南京:东南大学, 2015.
- 121 王蕾, 傅泽田, 李道亮. 网络化河蟹养殖专家系统的设计[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(4):54 – 58.
- WANG L, FU Z T, LI D L. Design on the limnetic crab culture expert system based-on web[J]. Journal of China Agricultural University, 2002, 7(4):54 – 58. (in Chinese)
- 122 王秀芬, 张树林, 邢克智, 等. 河蟹养殖专家决策系统的设计[J]. 天津农学院学报, 2003, 10(3):12 – 15.
- WANG X F, ZHANG S L, XING K Z, et al. Design of crab culture expert decision system based on internet[J]. Journal of Tianjin Agricultural College, 2003, 10(3):12 – 15. (in Chinese)
- 123 苏贤明, 温继文, 李道亮. 基于 MDA 的鱼病远程会诊群决策支持系统[J]. 农业工程学报, 2008,24(增刊 2):240 – 245.
- SU X M, WEN J W, LI D L. MDA-based group decision support system for teleconsultation of fish disease[J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(Supp. 2): 240 – 245. (in Chinese)
- 124 袁红春, 丛斯琳. Petri 网的水产品溯源系统模型[J]. 传感器与微系统, 2016, 35(9):42 – 45.