

现代食品安全控制技术与策略丛书

水产物联网理论、技术及应用

陈 明 朱泽闻 鲁 泉 池 涛 冯国富 著

非外借

 科学出版社

现代食品安全控制技术与策略丛书

水产物联网理论、技术及应用

陈 明 朱泽闻 鲁 泉 池 涛 冯国富 著

科学出版社

内 容 简 介

本书从感知、传输、处理和应用四个层面详细阐述了水产物联网的理论体系架构,对每一层所涉及的关键技术的基本原理、地位和在渔业生产过程中的应用进行了深入的剖析,力争让读者对先进感知、可靠传输和智能处理的各种技术原理及其在设施渔业、水产养殖、水产品物流及电子商务等领域的集成应用有一个全面的了解。

本书可作为高等农业院校农业物联网、农业信息化、农业工程、农业电气化等相关方向本科生和研究生的专业教材,也可作为非农业高等院校物联网技术、信息技术等相关方向本科生和研究生的选修教材,亦可作为农业和农村信息化领域同行和技术人员的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水产物联网理论、技术及应用/陈明等著. —北京:科学出版社, 2018.9
(现代食品安全控制技术与策略丛书)

ISBN 978-7-03-057405-3

I. ①水… II. ①陈… III. ①互联网络-应用-水产品-质量管理-安全管理-研究②智能技术-应用-水产品-质量管理-安全管理-研究
IV. ①TS254.7-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 095829 号

责任编辑:霍志国/责任校对:赵桂芬

责任印制:张 伟/封面设计:东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018 年 9 月第一次印刷 印张:19 3/4

字数:400 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《现代食品安全控制技术与策略丛书》

编委会

主 编 庞国芳

副主编 (按姓氏汉语拼音排序)

陈 坚 范春林 王 硕 谢明勇

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

陈 卫 高志贤 李培武 史贤明

宋 恂 王加启 杨 震 杨光富

杨信廷 叶志华 岳田利 张 峰

赵国华

丛 书 序

食品安全问题是世界各国共同面临的难题，已经成为影响国家稳定、社会和谐、经济繁荣、人类繁衍的重大公共安全问题，更是当前社会高度关注的民生问题。因此，立足国内外食品安全现状，总结国内外食品安全管理先进经验，开发食品安全检测技术，对揭示导致我国食品安全问题的根本原因，提出解决中国食品安全问题的有效策略，具有重要意义。

我国在食品安全风险评估方面已经初见成效。1994 年，中国《食品安全性评价的程序和方法》及《食品毒理学实验室操作规范》以国家标准形式颁布，为中国食品安全性评价工作进入规范化、标准化及与国际接轨提供了基本条件。特别是 2009 年《中华人民共和国食品安全法》和《中华人民共和国食品安全法实施条例》的颁布实施，为食品安全风险评估工作的制度化、规范化和科学化，从法律上给予了保障。但是，由于缺乏统一的机制，以及受经费支持力度、可利用信息资源限制，风险评估尚处于起步阶段，不具备主动进行风险评估的能力，还没有采用与国际接轨的风险评估程序和技术。

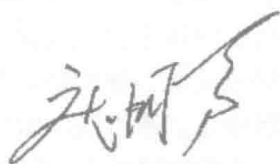
随着我国食品安全监管的强烈需求，以提高食品、农产品质量水平和食品工业的市场竞争力为最终目标，在“十一五”和“十二五”期间，陆续启动了有关食品安全的国家科技支撑计划项目。在这些项目的支持下，食品安全检测技术得到了快速发展。在农药、兽药残留检测和微生物、生物毒素检测方面，涌现了一大批新技术、新方法，如高通量色谱-质谱检测技术、微流控芯片技术、多维色谱技术、纳米检测技术、生物分析技术等。我国学者在吸收国外先进理念的基础上，于 2006 年和 2008 年先后建立了 20 项分别适用于水产品、农产品的农药及相关化学品多残留检测技术国家标准，并且在同时检测的农药品种数量上达到了国际领先水平。另外，兽药残留的检测也向多残留同时检测的方向发展，如磺胺类、氟喹诺酮类、大环内酯类兽药的定量检测方法，都可以同时检测多种药物的残留，大大提高了检测效率。具有公共卫生意义的致病性细菌、真菌、病毒、寄生虫、原生动动物及其产生的有毒物质也是影响食品安全的主要因素，微生物污染检验方法也发展迅速。病原菌的检测、鉴定技术已由传统的微生物生化鉴定发展到生化、免疫、分子生物学与仪器自动化的多元技术。

为了保证食品安全和消费者的利益，有效召回或撤销出现问题的产品，世界各国都强调“从农田到餐桌”的全程监控，实施食品安全追溯管理制度。目前，世界上已有 20 多个国家和地区采用国际物品编码协会推出的 EAN·UCC 系统，

对食品原料的生产、加工、储藏及零售等各个环节上的管理对象进行标识,通过条码和人工可识读方式使其相互连接,实现对食品供应过程的跟踪与追溯。食品的溯源技术可以分为物理方法(标签溯源技术,如条形码、电子标签等)、化学方法(如稳定同位素溯源技术、矿物元素指纹溯源技术、有机物溯源技术等)和生物方法(虹膜特征识别技术和 DNA 溯源技术)。我国积极开展食品安全溯源技术体系研究工作并取得了一定的成果,在溯源体系建设上需要逐步完善法律制度建设、建立和完善追溯体系数据中心、做好耳标佩戴和信息采集传输工作、加强追溯体系档案管理及相应的科技体系作为支撑,从而建立既适合我国国情又与国际通行做法接轨的食品、农产品可追溯系统与制度,以促进食品工业的发展。

为了有效应对食品安全问题,提高食品安全监控能力,特组织国内食品安全领域的专家学者,编著了“现代食品安全控制技术与策略丛书”。本套丛书由多部著作组成,涉及食品安全风险分析与管理、食品安全监测与检测技术、食品安全溯源技术等方面的内容。丛书的作者为来自于食品安全领域的一线科研人员,他们具有自己的学术思想和丰富的实践经验,通过对多年来研究成果的凝练与概括,以及对该学科领域充分把握,形成该套丛书。

该套丛书的出版,可为我国食品安全各个相关学科和技术领域的科技人员和管理人员提供一套重要的参考资料,希望能对我国建立以管理科学为主体、多学科协同且符合中国国情的食品安全管理体系、科技支撑创新体系起到积极的推动作用。



中国工程院院士

2015年4月

前 言

物联网作为一种模糊的意识或想法而出现，可以追溯到 20 世纪末。1995 年，比尔·盖茨在《未来之路》一书中提及类似于物品互联的想法，只是当时受限于无线网络、硬件及传感设备的发展，并未引起重视。1999 年，美国麻省理工学院 Auto-ID 研究中心的创建者之一的 Kevin Ashton 教授在他的一个报告中首次使用了“Internet of Things”这个短语。Auto-ID 中心的目标就是在 Internet 的基础上建造一个网络，实现计算机与物品之间的互联网，这里的物品包括各种各样的硬件设备、软件、协议等，这就是物联网的起源。物联网既不是美好的预言，更不是科技的狂想，而是又一场会改变世界的伟大产业革命。根据美国独立市场机构 FORRESTER 预测，到 2020 年，全球物和物互联业务与现有的人和人互联业务之比达到 30：1。至 2035 年左右，中国的物联网终端将达到数千亿个，到 2050 年，物联网将在生活中无处不在。可以预见，经过未来十年的发展，社会、企业、政府和城市的运行与管理都离不开物联网。物联网可以“感知任何领域，智能任何行业”。

水产物联网产业具有产业链长、涉及多个产业群的特点，其应用范围覆盖了多个行业。水产物联网将有力带动传统产业转型升级，引领战略性新兴产业的发展，实现经济结构的升级和调整，提高资源利用率和生产力水平，改善人与自然界的关系，引发社会生产和经济发展方式的深度变革，具有巨大的增长潜能，是当前社会发展、经济增长和科技创新的战略制高点。

本书根据信息生成、传输、处理和应用的原则，从关键技术角度，将一个完整的水产物联网系统划分为五个层面：信息感知层、物联接入层、网络传输层、技术支撑层和应用接口层。水产物联网各层之间既相对独立又联系紧密。在应用接口层以下，同一层次上的不同技术互为补充，适用于不同环境，构成该层次技术的应对策略。而不同层次提供各种技术的配置和组合，根据应用需求，构成完整的解决方案。水产物联网形式多样、技术复杂、涉及面广，所涉及的内容横跨多个学科，本书的成果实际上是凝聚了大量专家、教授和众多工程人员的心血，作者只是将他们的思想、观点、技术和方法凭着个人的理解并按照自己的思路整理出来。

本书引用了一些互联网上的最新资讯、报刊中的报道，在此一并向原作者和刊发机构致谢，对于不能一一注明引用来源深表歉意。对于网络上收集到的共享资料没有注明出处或找不到出处的，作者对这些资料进行了加工、修改并纳入本书，作者郑重声明其著作权属于其原创作者，并在此向在网上共享所创作或提供的内容表示致敬和感谢！

作 者

2018年8月

目 录

丛书序

前言

第 1 章 水产物联网进展	1
1.1 物联网概述	1
1.2 物联网的发展	2
1.3 水产物联网概述	3
1.4 水产物联网发展现状	5
1.5 水产物联网面临的挑战	6
参考文献	7
第 2 章 养殖环境检测及传感器技术	9
2.1 养殖环境参数的分析与测量方法	9
2.1.1 水质常规物理化学参数分析与测量方法	9
2.1.2 水质常规金属化合物参数分析与测量方法	17
2.1.3 水质生物指标参数分析与测量方法	19
2.2 水产物联网的感知技术及实现	20
2.2.1 温度传感器及关键技术	21
2.2.2 水质 pH 传感器及关键技术	25
2.2.3 水质氨氮传感器及关键技术	28
2.2.4 水质溶解氧传感器及关键技术	30
2.2.5 盐度传感器	36
2.3 传感器节点技术与系统集成技术	41
2.3.1 传感器技术数字化	41
2.3.2 多传感器节点的集成与融合	45
2.4 传感器存在的其他问题	48
2.4.1 消除传感器零点误差和零点漂移的方法	48
2.4.2 提供直流供电电源的稳定性方法	48
2.4.3 统一和标准化保证传感器精度	49
2.4.4 传感器的标校	49
2.4.5 敏感元件的质量控制	49
2.4.6 传感器补偿技术	50

参考文献	50
第3章 水产物联网传输技术	51
3.1 基于现场总线的有线传输	51
3.1.1 现场总线特点	52
3.1.2 基于模拟仪表控制的数据传输技术	53
3.1.3 基于集中式数字控制的数据传输技术	57
3.1.4 基于集散控制的数据传输技术	58
3.1.5 基于现场总线控制的数据传输技术	61
3.2 基于无线通信的数据传输	66
3.2.1 ZigBee 无线数据传输技术	66
3.2.2 RFID 无线数据传输技术	72
3.2.3 GPRS 无线数据传输技术	75
3.2.4 LoRa 无线数据传输技术	77
3.2.5 NB-IoT 无线数据传输技术	80
3.3 有线/无线混合通信的数据传输技术	83
3.3.1 基于电力载波混合通信的数据传输技术	83
3.3.2 基于网关有线/无线混合通信的数据传输技术	85
3.4 面向通信节点的轻量级数据处理智能技术	88
3.4.1 数据挖掘技术	89
3.4.2 数据融合技术	90
参考文献	95
第4章 水产养殖专家系统	97
4.1 水产养殖专家系统历程	97
4.2 水产养殖专家系统理论	98
4.2.1 知识的表示	99
4.2.2 诊断推理的主要方法	102
4.2.3 推理控制策略研究	104
4.3 水产养殖专家系统模型	107
4.3.1 水域控制	107
4.3.2 养殖专家系统	124
4.3.3 鱼病远程诊断模糊专家系统	128
4.4 水产养殖中最新技术研究	137
4.5 比较研究: 我国主要临海省市水产养殖专家系统特色	139
参考文献	141
第5章 基于物联网的水产品精细养殖系统关键技术	144

5.1 水产品精细养殖化概述	144
5.1.1 我国水产品养殖概况	144
5.1.2 我国主要水产养殖方式及优势条件	144
5.2 水产养殖物联网技术发展	146
5.2.1 水产养殖物联网技术应用现状	146
5.2.2 发展水产养殖物联网面临的主要问题	147
5.2.3 发展水产养殖物联网应用的关键技术	148
5.3 基于 HACCP 的水产品养殖研究——以南美白对虾为例	149
5.3.1 HACCP 原理概述	149
5.3.2 HACCP 原理在南美白对虾健康养殖中的应用	151
5.3.3 南美白对虾养殖工厂化养殖工艺流程及其危害分析	152
5.3.4 南美白对虾养殖苗种选育规范	157
5.3.5 南美白对虾养殖饵料管理规范	162
5.3.6 南美白对虾养殖水质管理规范	170
5.3.7 南美白对虾养殖药物管理规范	172
5.4 基于物联网的水产品精细养殖系统	178
5.4.1 水产品精细养殖系统分析	178
5.4.2 水产品养殖精细化管理系统	179
5.4.3 水产精细养殖物联网异构网络结构设计	185
5.4.4 水产养殖精细化管理系统软件设计	187
5.5 水产品质量控制与安全溯源	192
5.5.1 水产品质量安全追溯系统建立的目的与意义	192
5.5.2 我国水产品质量安全追溯系统现状与问题分析	193
5.5.3 水产品追溯系统关键技术	195
5.5.4 基于物联网的水产品追溯体系	196
5.6 鱼病诊断及水产养殖用药安全管理规范研究	199
5.6.1 鱼病诊断概述	199
5.6.2 鱼病诊断特点及依据	199
5.6.3 鱼病检查与确诊方法	201
5.6.4 水产养殖用药安全管理研究概况	203
5.6.5 水产养殖用药存在的问题	204
5.6.6 水产养殖规范用药的建议	206
参考文献	208
第 6 章 温室无线测控网络关键研究与系统集成	209
6.1 温室无线传感器网络系统集成	209

6.1.1	总体框架	209
6.1.2	技术路线	210
6.2	关键技术创新和突破	212
6.3	系统开发	215
6.4	应用效果	224
第 7 章	集约化水产养殖数字化集成系统研究与应用	225
7.1	集成架构	226
7.1.1	总体框架	226
7.1.2	技术路线	226
7.2	关键技术创新和突破	226
7.3	系统开发	231
7.4	应用效果	235
第 8 章	农业生产过程精细管理物联网关键技术研究与应用	236
8.1	集成架构	236
8.1.1	总体框架	236
8.1.2	技术路线	239
8.2	关键技术创新和突破	242
8.3	系统开发	243
8.4	应用效果	252
第 9 章	分布式智能 RFID 微粒食品实时监测物联网关键技术研究	253
9.1	集成架构	253
9.1.1	总体框架	253
9.1.2	技术路线	255
9.2	关键技术创新和突破	259
9.3	系统开发	260
9.4	应用效果	266
第 10 章	基于 LonWorks 总线廊下渔业监控系统实现	268
10.1	集成架构	268
10.1.1	总体框架	268
10.1.2	技术路线	268
10.2	关键技术创新和突破	269
10.3	系统开发	272
10.4	应用效果	278
第 11 章	基于图像技术的水产动物疾病诊疗与分析系统	280
11.1	集成架构	281

11.1.1 总体框架	281
11.1.2 技术路线	282
11.2 关键技术创新和突破	286
11.3 系统开发	286
11.4 应用效果	292
第 12 章 面向近海水域污染的无线传感原位监测技术研究	293
12.1 集成架构	293
12.1.1 总体框架	293
12.1.2 技术路线	294
12.2 关键技术创新和突破	299
12.3 应用效果	300

第 1 章 水产物联网进展

1.1 物联网概述

物联网（Internet of things, IoT）的概念最初由美国麻省理工学院（MIT）的 Kevin Ashton 教授在 1999 年提出。物联网是通过各种信息传感器设备以及基于物物通信模式的短距离无线传感器网络，按约定的协议，把任何物体通过各种接入网与互联网连接起来所形成的一个巨大的智能网络，通过这一网络可以进行信息交换、传递和通信，以实现物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。物联网主要有两个特征，即规模性和实时性。一是规模性，只有具备了规模，才能使物品的智能发挥作用；二是实时性，通过嵌入或附着在物品上的感知器件或外部信息获取技术，每隔极短的时间都可以反映物品状态，包括静止或运动、安全或危险、良好或腐烂，都可以实时地反映出来^[1-3]。

当前物联网应用中有三项关键技术。①传感器技术：这也是计算机应用中的关键技术。大家都知道，到目前为止绝大部分计算机处理的都是数字信号。自从有计算机以来就需要传感器把模拟信号转换成数字信号，计算机才能处理^[4,5]。②射频识别（radio frequency identification, RFID）技术：也是一种传感器技术，RFID 技术是融合了无线射频技术和嵌入式技术的综合技术，RFID 在自动识别、物品物流管理方面有着广阔的应用前景^[6,7]。③嵌入式系统技术：是融计算机软硬件、传感器技术、集成电路技术、电子应用技术为一体的复杂技术。经过几十年的演变，以嵌入式系统为特征的智能终端产品随处可见；小到人们身边的 MP3，大到航天航空的卫星系统。嵌入式系统正在改变着人们的生活，推动着工业生产以及国防工业的发展。如果把物联网用人体做一个简单比喻，传感器相当于人的眼睛、鼻子、皮肤等感官，网络就是神经系统，用来传递信息，嵌入式系统则是人的大脑，在接收到信息后要进行分类处理。这个例子很形象地描述了传感器、嵌入式系统在物联网中的位置与作用^[8-10]。

物联网在实际应用上的开展需要各行各业的参与，并且需要国家政府的主导以及相关法规政策上的扶助，物联网的开展具有规模性、广泛参与性、管理性、技术性、物的属性等特征，其中，技术上的问题是物联网最为关键的问题；物联网技术是一项综合性的技术，更是一个系统工程，国内还没有哪家公司可以全面负责物联网的整个系统规划和建设，理论上的研究已经在各行各业展开，而实际

应用还仅局限于行业内部。目前物联网的规划和设计以及研发关键在于 RFID、传感器、嵌入式软件以及传输数据计算等领域的研究。

1.2 物联网的发展

随着物联网技术的不断发展和市场规模的不断扩大,其已经成为全球各国的技术及产业创新的重要战略。美国提出“智慧地球”的概念,引发全球物联网关注热潮,将物联网上升为国家创新战略的重点之一,先进的硬件设计制造技术,已经趋于完善的通信互联网络均为物联网的发展创造了良好的条件。目前,美国已经开始在工业、农业、军事、医疗、环境监测和海洋探索等领域开展相关物联网工作。我国就物联网发展也做出了多项国家政策及规划,推进物联网产业体系不断完善。《物联网“十二五”发展规划》、《国务院关于推进物联网有序健康发展的指导意见》、《国家发改委关于印发 10 个物联网发展专项行动计划的通知》,以及近期颁发的《中国制造 2025》等多项政策不断出台,并指出“掌握物联网关键核心技术,基本形成安全可控、具有国际竞争力的物联网产业体系,成为推动经济社会智能化和可持续发展的重要力量”。在物联网发展热潮以及相关政策的推动下,我国物联网产业将持续保持高速增长态势,虽然增长率近年略有下降,但仍保持在 23% 以上的增长速度,到 2015 年,我国物联网产业规模已经超过 7500 亿元。预计未来几年,我国物联网产业将呈加速增长态势,预计到 2020 年,我国物联网产业规模超过 15000 亿元。

自 2016 年 6 月窄带物联网(narrow band internet of things,NB-IoT)核心标准冻结以来,NB-IoT 发展明显驶入快车道,而 NB-IoT 的规模化部署也成为物联网普及的重要突破点。2017 年 3 月 1 日,中国移动在世界移动通信大会(MWC)上宣布将于 2017 年在杭州、上海等四个城市开展 NB-IoT 及 eMTC 规模试验。

LoRa 是一种 LPWAN 通信技术,是美国 Semtech 公司采用和推广的一种基于扩频技术的超远距离无线传输方案。这一方案改变了以往关于传输距离与功耗的折中考虑方式,为用户提供一种简单的能实现远距离、长寿命、大容量的系统,进而扩展传感网络。目前 LoRa 网络已经在世界多地进行试点或部署。据 LoRa Alliance 早先公布的数据,已经有 9 个国家开始建网,56 个国家开始进行试点。中国 AUGTEK 在北京京杭大运河完成 284 个基站的建设,覆盖 1300km 流域;美国网络运营商 Senet 于 2015 年在北美完成 50 个基站的建设、覆盖 15000km²,预计在下一阶段完成超过 200 个基站架设;法国电信 Orange 宣布在 2016 年初在法国建网;荷兰皇家电信(KPN)宣布将在新西兰建网;印度宣布将在 Mumbai 和 Delhi 建网。目前为止,LoRa 已经在中国成功使用,已应用在停车场、市井盖、水产养殖等多个领域^[11-13]。

1.3 水产物联网概述

传统水产养殖业目前在生产实践中存在着种种弊端,有诸多的问题亟待解决:养殖模式和技术落后、水域资源逐渐短缺、水体污染逐年加重、水产品食品安全问题时有发生等,这些都预示着传统养殖模式受到重大的挑战。随着科技的进步,传统水产养殖已经慢慢地向智能养殖靠拢。水产物联网是针对水产养殖过程中的不同养殖品种、不同养殖规模、不同养殖模式,充分利用现代传感技术、无线网络技术、智能控制技术、大数据技术以及人工智能技术,结合生物生长规律性模型和水产养殖的理论和方法,所形成的智能化、网络化、无线化、专家化的全过程精细养殖管理服务平台和集成系统^[14,15]。水产物联网的技术发展伴随整个物联网体系的发展应运而生,其整体上可以说是物联网技术在水产养殖方面的应用,通常从四个技术层面来研究其发展。

现代渔业是养殖技术、装备技术和信息技术的高度融合,这些都需要现代渔业同物联网的深度融合,在大数据分析基础上进行科学决策,实现精准化、自动化和智能化,发展“物联网+水产养殖”是实现水产规模化标准化的必然之路。物联网技术在水域环境监测、投饵饲料系统、病害防治远程监控、育种监控、苗种饲养、设施化养殖等方面都有重要的应用。开展物联网技术在渔业领域的推广应用,以实现生产经营过程的智能化控制、科学化管理、信息化服务、全程化追溯,对提高资源利用率和劳动生产率,提高水产品产量、质量和安全性,提高渔民收入水平和广大消费者健康水平,都具有十分重要的意义^[16,17]。

水产物联网是一种复杂多样的系统技术,主要包括信息感知技术、信息传输技术、信息处理技术、智能控制技术四个技术。物联网的技术在监控水产养殖水环境中应用,可以改善传统监控方式监控时间周期长,措施采取不及时等多种弊端,实现对水产养殖水环境的实时监测、自动化控制、远程监控,便于建立良好水环境适应产品生长。

1. 信息感知技术

信息感知技术是水产物联网发展的基础,也是发展的重点。它是整个水产物联网链条上最基础的环节,主要涉及传感器技术、RFID 技术等。传感器技术在水产养殖业中常用于测定水体溶解氧、酸碱度、氨氮、电导率和浊度等参数。RFID 技术俗称电子标签,是一种非接触式的自动识别技术,它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据,该技术在水产品质量追溯中有着广泛的应用^[18-20]。

(1) 传感器技术。在水产物联网中,主要包括溶解氧传感器、温度传感器和氨传感器,它们负责采集水中信息,供养殖人员使用。

(2) RFID 技术。RFID 技术又称为无线射频识别,是一种通信技术,可通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据,而无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触。

2. 信息传输技术

这是水产物联网体系的关键点,是链接感知层和应用层的核心,主要技术手段有无线局域网技术、ZigBee 技术、移动通信技术、地理信息系统(geographic information system, GPS)定位技术;随着 TD-LTE 和 FDD-LTE 第四代无线通信技术(4G)的成熟,其也被越来越多地应用到水产物联网中。

3. 信息处理技术

信息处理技术是实施水产自动化控制的技术基础,主要涉及云计算、GIS、专家系统和决策支持系统等信息技术。其中云计算是指将计算任务在大量计算机构成的资源池上,使各种应用系统能够根据信息数据库进行空间信息的地理统计处理、图形转换与表达等,为分析差异性和实施调控提供处方决策方案。专家系统(expert system, ES),指运用特定领域的专门知识,通过推理来模拟通常由人类专家才能解决的各种复杂的、具体的问题,达到与专家具有同等解决问题能力的计算机智能程序系统。决策支持系统(decision support system, DSS),是辅助决策者通过数据、模型和知识,以人机交互方式进行半结构化或非结构化决策的计算机应用系统。

4. 智能控制技术

智能控制技术是控制理论发展的新阶段,主要用于解决那些用传统方法难以解决的复杂系统的控制问题。智能信息处理技术的研究内容主要包括 4 个方面:人工智能理论研究,即智能信息获取的形式化方法、海量信息处理的理论和方法以及机器学习与模式识别;先进的人机交互技术与系统,即声音、视频、图形、图像和文字处理以及虚拟现实技术;智能控制技术与系统,即给物体赋予智能,以实现人与物或物与物之间互相沟通和对话,如准确定位和跟踪目标等;智能信号处理,即信息特征识别和数据融合技术。

水产物联网的养殖模式主要有海水养殖、大水面养殖、标准化池塘养殖和工厂化养殖。

(1) 海水养殖。海水养殖是利用浅海、滩涂、港湾、围塘等海域进行饲养和繁殖海产经济动植物的生产方式,是人类定向利用海洋生物资源、发展海洋水产产业的重要途径之一。海水养殖的优点是:集中发展某些经济价值较高的鱼类、虾类、贝类及棘皮动物(如刺参)等,生产周期较短,单位面积产量较高。按养殖