

生态治理模式下生猪养殖业污水智慧监管

武新梅^{1,2}, 周素茵^{1,2}, 徐爱俊^{1,2}

(1. 浙江农林大学 信息工程学院, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江农林大学 浙江省林业智能监测与信息技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311300)

摘要: 针对污水排放监管存在的取证难度大、实时性低等问题, 为了提高污水监管部门的监管效率, 提高企业应急反应能力, 提出了适用于生态治理模式的生猪养殖业污水处理的智慧监管策略、监管模型以及 Ecological 数学分析方法。该方法基于生猪养殖业污水生态治理方式, 通过对监管策略工作原理的分析, 提出采用多种传感器监听与收集各节点的实时数据, 并通过 Ecological 数学分析方法对接收到的数据进行定性分析与定量分析预测。以 Ecological 方法为基础, 分析并实现了生态治理模式下生猪养殖业污水处理的智慧监管模型, 提出了模型的数据监管流程和具体算法, 从而可以对生态治理模式下生猪养殖业污水违规排放进行实时判断。将该策略应用于指导生猪养殖业污水监测预警平台的构建, 有效解决了生猪养殖污水排放实时监管问题, 提高了污水排放监管的效率和准确性。图 5 表 3 参 19

关键词: 环境保护学; 生猪养殖企业; 污水处理; 生态治理模式; 智慧监管; 监测预警平台

中图分类号: X713; S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2018)03-0543-09

Smart monitoring of hog sewage under ecological treatment mode

WU Xinmei^{1,2}, ZHOU Suyin^{1,2}, XU Aijun^{1,2}

(1. School of Information Engineering, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Forestry Intelligent Monitoring and Information Technology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To solve problems of lacking adequate evidences and real-time monitoring in the process of monitoring sewage disposal, and improve the monitoring efficiency of the sewage disposal and emergency response capability of pig farms, we presented an exploratory smart monitoring strategy, model and Ecological analysis method on hog sewage disposal under the ecological treatment mode. Based on the treatment process of hog sewage and the analysis of the monitoring principle of hog sewage disposal under the ecological treatment mode, the research proposed to use multiple sensors to monitor and collect the real-time data and conduct qualitative and quantitative analysis of the data with the Ecological mathematical method. Using the Ecological method, this paper analyzed and built a smart monitoring model for hog sewage disposal under the ecological treatment mode, and proposed the data monitoring procedures and algorithm to make the real-time judgment of the inappropriate disposal of hog sewage. Application of the strategy to building an early-warning platform of hog sewage disposal can effectively conduct the real-time monitoring of hog sewage disposal, and improve the efficiency and accuracy of the sewage disposal monitoring. [Ch, 5 fig. 3 tab. 19 ref.]

Key words: environmental protection science; pig farm; sewage disposal; ecological treatment mode; smart monitoring; monitoring and early warning platform

收稿日期: 2017-05-15; 修回日期: 2017-06-22

基金项目: 浙江省“三农六方”科技协作项目(CTZB-F160728AWZ-SNY1)

作者简介: 武新梅, 从事资源与环境信息系统研究。E-mail: xinmeiw@foxmail.com。通信作者: 徐爱俊, 教授, 博士, 从事资源与环境信息系统、森林资源信息管理等研究。E-mail: xuaj1976@163.com

随着物联网、互联网技术的迅速发展,信息技术被广泛应用于不同领域。20世纪60年代,日本将水环境因子自动化监控设备应用到了水产养殖业。美国、加拿大、新西兰、澳大利亚等国家相继将智能化管理技术应用于养殖场,由于其独特的地理环境逐步形成了畜牧养植物联网模式。这一模式将“3S”(remote sensing, RS),地理信息系统(geographical information system, GIS),全球定位系统(global positioning system, GPS)技术与智能化感应技术进行有效结合,具有集约化、智能化的特点^[1]。尽管这些国家设施畜牧养殖场物联网模式不尽相同,但其设施养殖都形成了畜牧业工厂化生产、物联网技术发达、农民文化程度高的集约化模式。欧美等一些经济发达国家,经过几年的快速发展,污水远程监测信息系统已基本遍及全国^[2-5]。一些国家还将“3S”技术、无线传感技术、远程终端监控技术及无线通信技术等应用在了污水监测与污水治理中,建立了以污水监测指标和相应的项目为基础的环境在线监测信息系统^[2,6]。另外,韩国也使用无线传感网络技术搭建了功能较为完善的畜禽疾病监管平台,可用于预防和减少因畜禽疾病造成的经济损失^[7]。在国内,畜牧业信息化发展水平不平衡^[8]。与国外养殖业信息化、机械化程度相比,中国在畜牧业信息化技术的研究起步较晚,但发展速度较快^[9]。近年来,中国畜牧业信息化在管理信息系统、“3S”技术、无线射频技术、广角视频监控、生产统计监测等方面有所发展^[10-11],国内已研制了专家智能咨询系统,PIGMAP,GBS和畜禽诊断专家系统等^[12]。中国畜牧业信息化已在畜牧业生产经营、畜牧业生态监测预警、畜产品质量安全监管等方面取得实质性进展^[8],但养殖废弃物不合理排放带来的可持续发展问题也同样突出^[13],特别是在养殖污水排放监测方面仍存在监管效率低、取证难度大以及养殖企业环保意识淡薄等问题。在畜禽养殖污水监控平台构建,污水排放预警等方面未见报道。目前,中国规模化畜禽养殖的比例不断扩大,养殖污水的违规排放对环境造成了严重影响^[14]。本研究结合物联网技术,基于不断升级完善的生猪养殖污水治理物联网硬件监控平台,利用定性分析与定量统计的方法,研究生态治理模式下生猪养殖企业污水治理智慧监管策略并构建相应的监管模型,对实时数据进行分析,从而可以避免因养殖污水泄露造成的环境污染。同时,智慧监管策略能在养殖污水处理排放过程中提供相关预警信息,有效提升企业的应急反应能力和政府监管部门的监管效率。

1 生态治理智慧监管策略与模型

中国生猪养殖业污水处理方式种类主要有3种:生态治理、工业治理和集中处理^[14-16],其中生态治理指生猪养殖企业通过消纳地等来实现污水的循环利用。该治理模式适用于具有一定面积消纳地的中小规模养殖企业^[15-16]。生态治理技术的原理:养殖污水排入沼液池后,可以去除冲洗水中的有机物,把有机氮转化为无机氮,降低污水中化学需氧量、氨氮、总磷等的浓度。然后污水由总排污管口分别排向各分支排污管口从通往消纳地,消纳地通常为果园基地消纳池、稻草基地消纳池或水生植物湿地等。消纳地利用植物吸收养殖废水中多余的氮磷等营养物质,通过过滤、吸附、沉淀、微生物分解等实现水质净化。

1.1 智慧监管策略的工作原理

生态治理智慧监管策略通过对监管数据的分析,判断生猪养殖企业污水排放是否存在违规排污现象,并根据其违规排污量、企业信用等级以及企业对警报的应急处理时间等因素的不同决定其推送的优先级别和推送对象。

生态治理智慧监管策略原理:生猪养殖业养殖污水排放时需要先开启电泵,此时安装在电机上的电压电流检测仪监测到电机处于开启状态,沼液池液位监测传感器及安装在沼液池排污口处的流量传感器所获取的数据发生变化。正常排放时,安装在沼液池排污口处的流量传感器数值应与安装在通往消纳地各分支排污口流量传感器值的总和大致相同,但由于养殖污水在由总排污口流向各分支排污口的过程中存在固体悬浮颗粒的沉降和传感器精度等因素的影响,造成养殖污水排放总流量与各分支的流量会存在一定的误差,在可接受的误差范围内认为养殖企业属于正常排放。若两者相差较大,可认为该养殖企业违规排放或监管设备出现故障。

此外,生态治理模式下夜间及雨天不允许排放,因此夜间或雨天若检测到电机处于开启状态,则认为是违规排放,违规排放类型为不适宜时间排放。当电泵未开启时,一旦监测到液位数据和流量数据有变化或者仅仅是液位数据减小,也可视为违规排放。综上所述,生态治理模式下存在的违规排放情况有偷排漏排、满溢、不适宜时间排放3种,可通监控摄像机进行辅助监测。其具体判断策略原理如表1。

表 1 生态治理监管策略

Table 1 Strategy of ecological governance supervision

	排放时间	天气状况	电机状态	液位	终端流量			总流量
					01	02	03	
正常排放	●	●	●	●	●	●	●	●
	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎
不正常排放	◎	◎	●	●	◎	◎	◎	○
	◎	◎	●	●	○	◎	◎	●
	◎	◎	●	●	◎	○	◎	●
	◎	◎	●	●	◎	◎	○	●

说明：○为信号不正常；●为信号正常；◎为无论信号正常与否

1.2 智慧监管模型

本研究将生态治理模式下生猪养殖企业污水治理智慧监管模型定义为：

$$Eco: h, h_i, r, t, \lambda, \mu_0, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n \rightarrow Ecological(h, h_i, r, t, \lambda, \mu_0, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)。$$

其中：Eco 表示 Ecological 模型， h 为沼液池深度的 90%， h_i 为第 i 次获取液位传感器的监测数据， r 为当前消纳地的天气状态， r 值为 0 或 1。 r 等于 0 时代表未下雨，此时允许排放养殖污水； r 等于 1 时代表下雨，此时不允许排放污水。 t 为排放时间，用于对污水排放时间进行监测。 λ 代表电机状态， λ 等于 0 或 1。 λ 为 0 时代表电机关闭， λ 为 1 时代表电机开启。

Ecological 模型处理过程是 λ 等于 1 时，电机开启，此时模型通过将 h 与第 i 次获取的液位传感器监测数据 h_i 进行对比判断沼液池是否存在满溢现象，同时通过比较沼液排放总流量 μ_0 与各终端流量 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ 之和来判断生猪养殖业污水是否存在偷排、漏排或者设备是否出现故障。另外，Ecological 模型通过 r 和 t 的取值判定生猪养殖企业是否不适宜时间排放。

若待处理数据为 D ，上述模型可以通过具体函数形式表示，Eco 可表达为：

$$Eco(D) = Ecological(D) = F\{T[S(D)]\} = warn(I)。$$

其中： F 表示 Full 方法，用于判断沼液池是否存在满溢现象； T 表示 Time 方法，用于判断养殖污水是否在不正确的时间(雨天或夜间)排放； S 表示 State 方法用于判断电机状态。warn 表示 Ecological 模型中预警分析函数，该函数可对数据进行分析并发出相应警报。 I 为企业接收到的所有预警信息。若 M 方法表示总流量与各终端流量之和的关系。下面对以上提到的处理方法做具体的解释。

Full: $\Delta h_i = h - h_i > 0 \rightarrow warn(I)。$

State: $S[\lambda, M(\mu_0, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)] = (\lambda = 0 \wedge \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n) \vee (\lambda = 1 \wedge \mu_0 \approx \sum_{i=1}^n \mu_i) \rightarrow warn(S)。$

Time: $r = 0 \wedge 6 < t \leq 18 \rightarrow warn(T)。$

根据生猪养殖污水生态治理方式，Ecological 模型具有 3 个性质。

性质 1：Ecological 模型满足分配率，即对所有数据集进行分析所得的预警信息，等于分别对各个数据集分析预警的并集。

$$warn(I) = warn(F+T+S) = warn(F) + warn(T) + warn(S)。$$

性质 2：Ecological 模型中各个方法的判断顺序具有随机性，各方法不存在优先级的差异。

$$Ecological(D) = F\{T[S(D)]\} = T\{F[S(D)]\} = S\{F[T(D)]\} = F\{S[T(D)]\} = T\{S[F(D)]\} = S\{T[F(D)]\} = warn(F) + warn(T) + warn(S)。$$

性质 3：Ecological 模型中各个方法出现预警所占的权重等级有所不同， $\alpha_i (1 \leq i \leq 3)$ 反映养殖场 m 所在地区监管部门对该种警报类型监管的重点程度，并且 $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$ ，预警等级函数：

$$Rank(m) = \alpha_1 warn(S) + \alpha_2 warn(F) + \alpha_3 warn(T)。$$

2 生态治理智慧监管模型实现

2.1 监测数据项

生态治理智慧监管模型以生猪养殖企业污水排放与处理过程为研究对象, 综合分析从各类传感器获取来的实时数据, 为实现对生猪养殖污水排放的“实时感知、快速预警”提供理论支撑。

针对生态治理相关需求, 污水智慧监管模型需要采集的数据包括沼液池液位、电机状态、排污管网总流量及各终端流量、传感器位置、排放时间、消纳地天气状况(表2)。

2.2 数据流分析

为了确保养殖污水是由沼液池正常排入消纳地而非偷排, 本研究根据已建立的生态治理智慧监管策略和监管模型, 通过 Ecological 数学分析方法对前文所提到的监管数据项实时监管和分析, 进而实现生态治理智慧监管模型, 并得出相应的数据监管流程。具体分析流程如图1所示。监管数据项由数据传输设备被传送到服务器, 服务器对实时数据进行接收、解析并存储。数据处理中心通过对电机状态、沼液池液位及流量等进行实时分析从而判断生态治理过程是否存在违规排放或设备故障。在数据监管过程中, 监管模型先对沼液池是否存在满溢进行判断, 若液位深度等于沼液池深度的90%则存在满溢现象。之后通过电机状态、总流量与终端流量之和的关系对可能存在的偷排漏排、设备故障等进行监测。最后监管污水排放时的天气及排放时间。这里对满溢状况、排放时间与天气、偷排漏排的监测并非依存关系, 监测顺序可以进行调整。数据监管程序实现如下。

输入: 沼液池深度的90%(h), 当前液位数据 h_i , 天气状态 r , 当前时间 t , 电机状态 λ , 总流量 μ_0 , 各终端流量 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$, m 条来自传感器的数据, 终端个数 n 。

输出: 警报 warn

BEGIN

初始化数据 $i, \lambda, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n, t, r, h$;

FOR $i=1$ TO m DO //遍历所有数据

 BEGIN

 IF $h-h_i=0$ THEN //判断沼液池是否满溢

 warn= “满溢”;

 END;

 ELSE IF $h-h_i<0$ THEN //判断沼液池是否满溢

 warn= “液位传感器故障”;

 END;

 ELSE THEN //判断沼液池是否满溢

 IF $\lambda==1$ THEN //电机开启

 IF $(\mu_1 \neq 0 \ \&\& \ \mu_2 \neq 0 \ \&\& \ \mu_3 \neq 0 \ \dots \ \mu_n \neq 0 \ \&\& \ h_1 < h_2)$ THEN

 IF $(r == 0 \ \&\& \ t > 6 \ \&\& \ t \leq 18)$ THEN //判断排放时是否下雨及是否在夜间排放

 IF $\mu_0 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots + \mu_n) < \text{threshold1}$ THEN //总流量与终端流量和的差小于阈值

 warn = “流量传感器故障”;

 ELSE IF $\mu_0 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots + \mu_n) > \text{threshold2}$ THEN //总流量与终端流量和的差大于阈值

 warn = “偷排漏排”;

 ELSE THEN

表2 生态治理模式下生猪养殖业污水监测数据项

Table 2 Monitoring data of swine effluent under ecological management mode

列名	类型	传感器
沼液池液位(h_i)	Double	液位传感器监测
电机状态(λ)	Boolean	电流传感器监测
排污管网总流量(μ_0)	Double	流量传感器监测
终端流量和	Double	流量传感器监测
排放时间(t)	Date time	
天气状态(r)	Boolean	雨量传感器监测

```

warn = null;
ELSE THEN
    warn=" 在不适宜时间排放" ;
ELSE THEN //电机开启时未检测到液位和流量数据发生变化
    warn = "设备发生故障" ;
END;
ELSE THEN
    IF( $\mu_1 == 0 \ \&\& \ \mu_2 == 0 \ \&\& \ \mu_3 == 0 \ \dots \ \mu_n == 0 \ \&\& \ h_{i-1} == h_i$ ) THEN //电机关闭时流量为 0 且液位不发生变化
        warn=null;
    ELSE THEN
        warn= "偷排漏排" ;
    END;
END;
END;
END;
END;
    
```

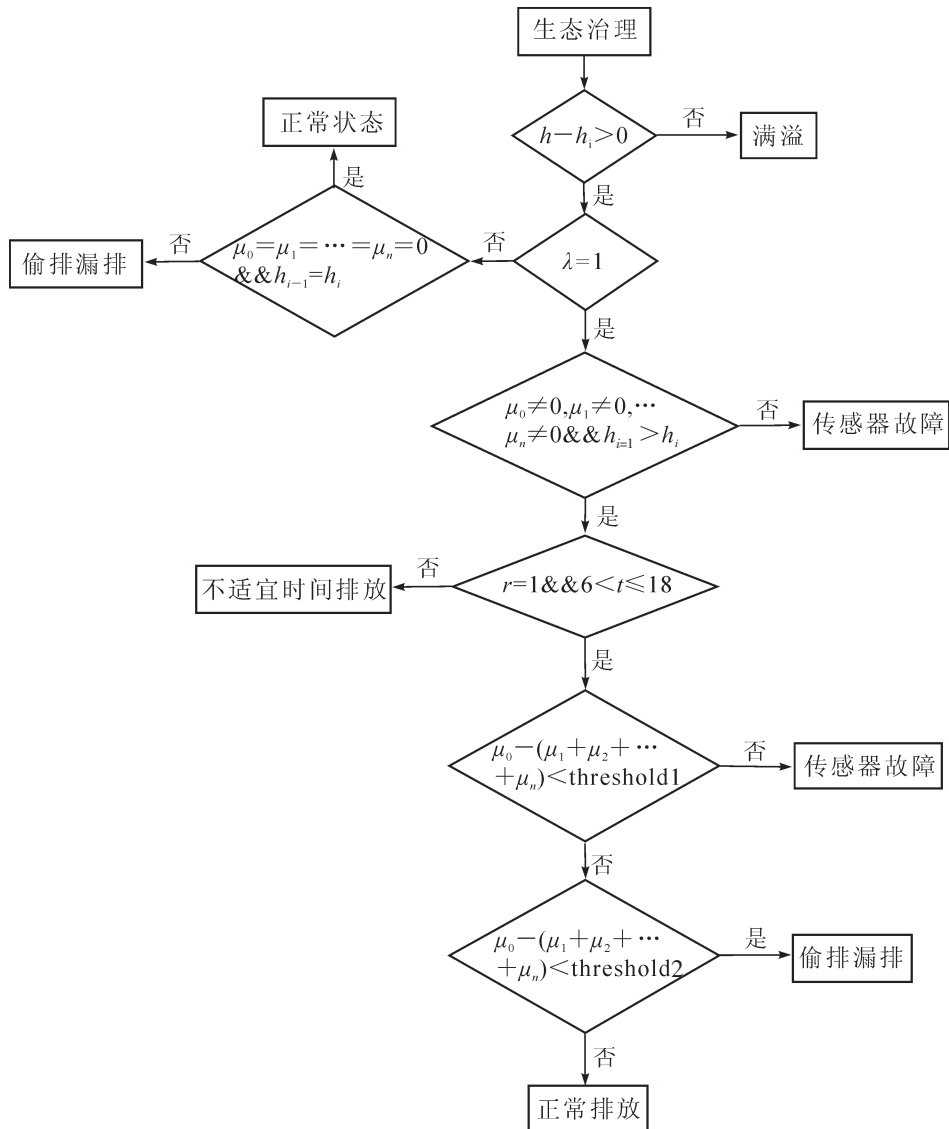


图 1 生态治理数据监管流程

Figure 1 Data regulatory process under ecological management mode

2.3 预警决策方法

根据生态治理智慧监管策略及监管模型, 可实现对违规排污现象的实时监控、实时预警。对生态治理模式下所获取的数据进行预警分析后还需将数据异常现象以警报的方式推送给生猪养殖企业负责人及污水监管人员。其警报推送方式如图2所示。

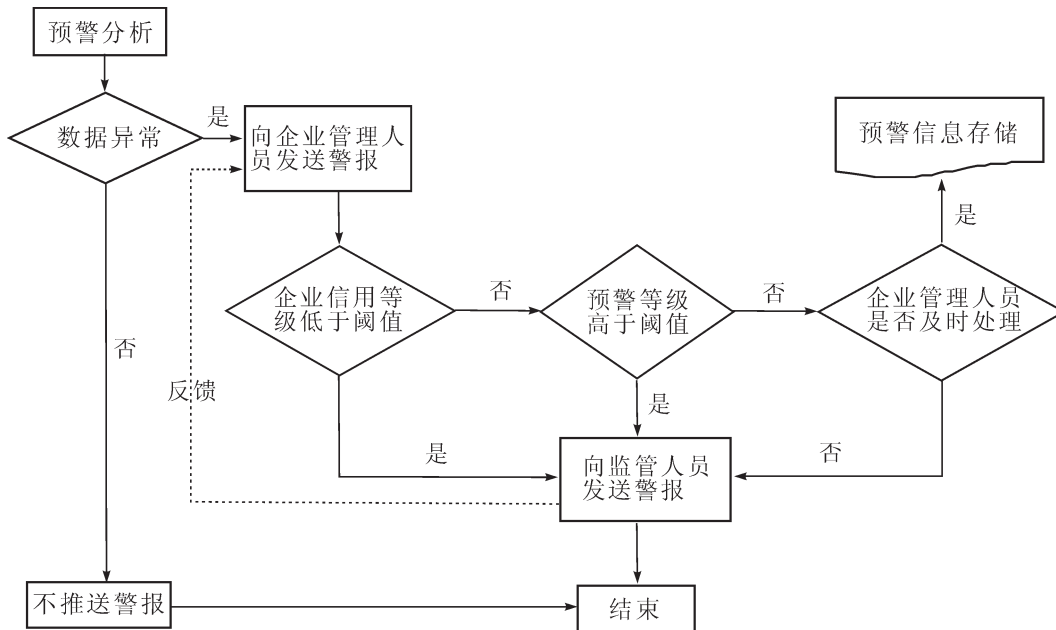


图2 预警推送决策

Figure 2 Strategic decision of early warning

当监测到数据异常时, 将警报信息推送给生猪养殖企业管理人员, 同时对该企业的企业信用度进行评判, 若企业信用度较低(企业信用等级划分标准由生猪养殖污水监管部门提供, 信用等级 ≤ 60 为较低), 将该警报信息推送给监管人员; 否则将继续对其违规排污量进行计算, 按照企业违规排污量与规定阈值之间的差值进行等级划分, 违规排污量等级较高的将警报信息推送给监管人员; 针对违规排污量较小的企业根据企业管理人员是否对预警做出及时处理决定是否将预警信息推送给监管人员。总之, 生猪养殖企业污水排放的预警决策是由数据异常与否、企业信用等级、违规排污等级以及企业管理人员对预警处理的时效性等因素决定的。

3 应用平台构建

生猪养殖企业污水智慧监管策略是结合当前互联网迅速发展的新态势, 基于先进的计算机技术、物联网技术以及网络通信技术, 提出的一种“互联网+”畜牧业的新思路。因此, 本策略应与相关软硬件平台结合使用, 以策略和模型为核心, 系统平台为支撑, 数据的定性与定量分析为手段, 构建完整的污水监管新模式。

3.1 硬件平台设计与实现

利用传感器设备对生猪养殖企业污水排放过程进行全程监测, 采用星型组网方式将信息获取模块组成一个网络后, 自动定时(本系统 10 min 采集 1 次数据)的采集生猪养殖污水治理排放信息, 如液位、流量、天气状态和电机状态等, 通过 ZigBee 网络将数据包发送到网关。这样做的原因是 ZigBee 组网方式中, 星型组网方式简单且易于管理^[17-19]。终端信息获取模块使用的传感器信息如表3所示。

本研究选择 ZigBee 模块作为短距离无线通信模块, 接收来自信息获取终端发送的数据包, 对监测数据进行解析、处理后, 通过 GPRS 网络被传送到云服务器, 并通过 Zig-

表3 传感器基本信息

Table 3 Basic information of sensor

名称	型号	精度
超声波液位计	MIK-DP-5M-485	0.5%~1.0%
电磁流量计	RFLDY-DN80	0.5级
雨量传感器	L3 翻斗式雨量传感器	$\leq \pm 3\%$
多功能电力仪表	PZ96-E4	

Bee 网将同步数据包返回信息获取终端，从而实时掌握监测领域内养殖污水排放情况。监测中心站的计算机控制中心进行数据汇总、整理和综合分析。

各监测点通过 GPRS 网络可以和预先设定的 IP 地址或者域名建立 TCP 链路，从而实现云平台和各个监测点间双向传输数据。在云端配套的软件部分根据各个节点采集到的数据，可以实现数据实时分析、数据处理、统计分析等功能。硬件平台整体架构如图 3 所示。

3.2 监管系统设计与实现

监管策略和模型可用于指导生态治理模式下生猪养殖企业污水软件监管平台的搭建，同时功能完善的平台也使得监管策略的实用价值得以更好的体现。因此监管策略的制定与软件平台的搭建息息相关。

生猪养殖污染治理智慧监管软件平台主要包括用户中心、数据中心、数据分析、预警中心 4 个部分组成，由实时数据监测模块、视频监控模块、站点管理模块、设备管理模块、数据统计模块和预警管理模块组成。生猪养殖企业污水排放智慧监管平台实现效果如图 4。

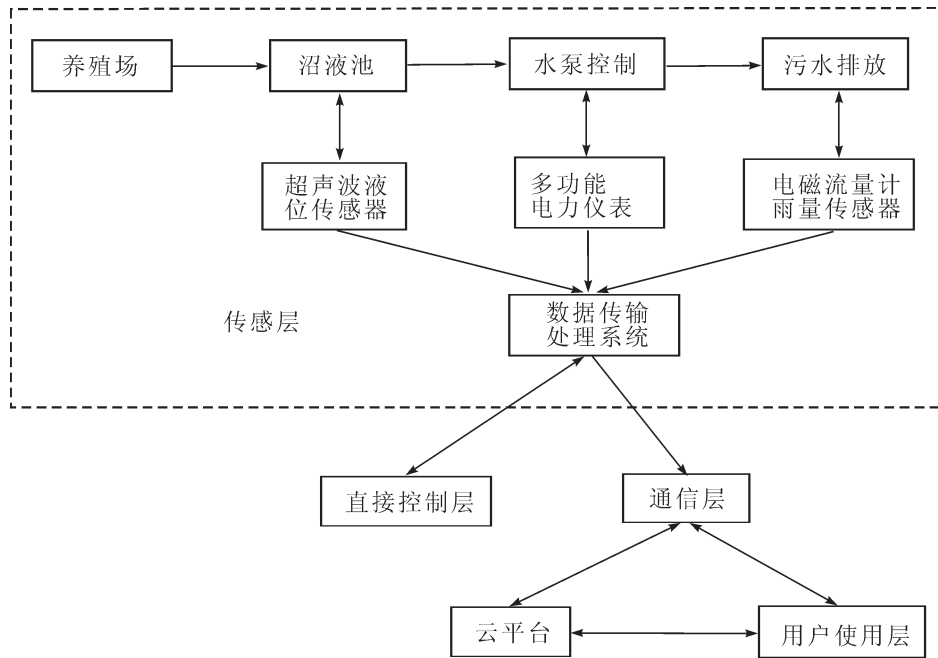


图 3 硬件平台整体架构

Figure 3 Overall frame of hardware platform

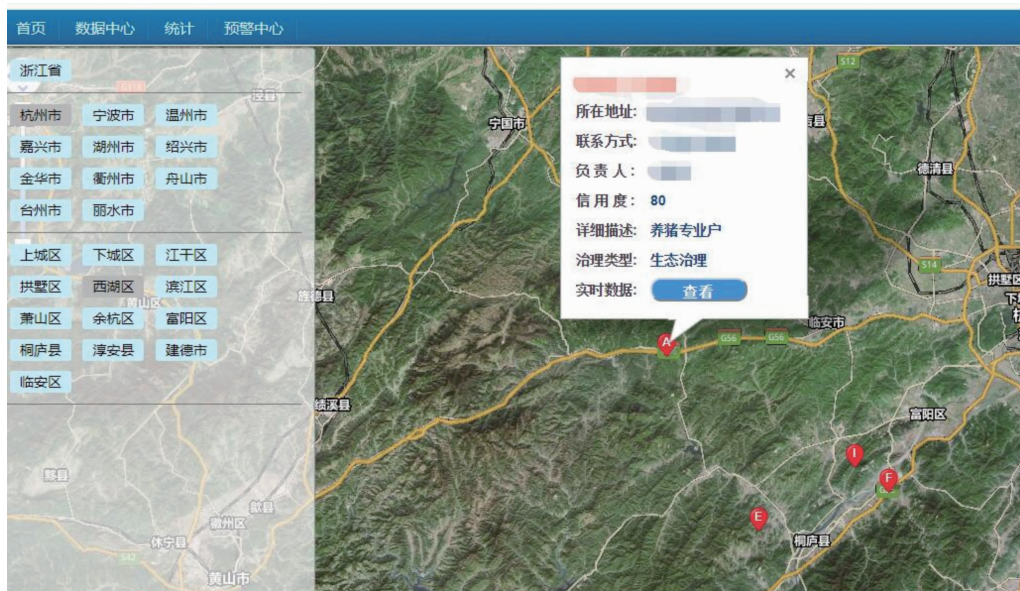


图 4 生猪养殖企业污水智慧监管实现效果

Figure 4 Wisdom supervision effect of swine effluent

以某养殖企业为例说明系统应用案例。图5是该养殖企业2017年5月4日的污水排放监管实时数据信息。监管系统利用 Ecological 模型对该企业实时数据进行预警分析,对其违规排污结果进行预警。

4 结论与讨论

本研究通过分析中国生猪养殖企业污水生态治理的实际情况和排放流程,对该模式下生猪养殖企业污水排放智慧监管策略原理进行分析,并构建相应的数据监管模型及 Ecological 数学分析方法,该模型通过 Ecological 数学分析方法对实时数据进行定性与定量的分析监测,实现了生态治理模式下生猪养殖企业污水排放的实时预警。另外,本研究还给出了模型的具体实现方式和预警决策分析方法。并据此提出了系统软硬件实现方案,包括硬件平台感知层的搭建、传感器型号的选取及数据通讯协议等。通过采集某养殖企业污水排放实时数据对软件平台实现效果进行验证,实验结果表明本策略和模型的监管效率较传统监管方式具有效率高、预警准确等优势。

生猪养殖企业污水排放智慧监管模型通过对养殖污水排放的实时数据进行分析统计,从而实现了对养殖污水排放过程的偷排漏排、设备故障、满溢等问题的监管,可以避免因养殖污水被大量排出而造成的生态环境破坏。另外,该模型有助于提升企业的应急反应能力和政府监管部门监管效率。实现了畜牧业的信息化、智能化,为“互联网+”畜牧业的发展提供新思路。但由于不同地区消纳地土壤对养殖污水的吸收力差异很大,在采用本策略对养殖污水排放进行监管的过程中需要不断修正和完善。且生猪养殖污水对传感器存在不同程度的侵蚀,使得本策略在实施过程中仍存在许多问题。因此,如何进一步完善养殖污水排放的监管分析方法,构建合理的评价指标体系,使之在全国发挥作用,是今后研究的方向。

5 参考文献

- [1] BATES L, CROWTHER E, BELL C, *et al.* Development of the animal management and husbandry online placement tool [J]. *J Veter Med Educ*, 2013, **40**(4): 349 – 354.
- [2] JAAFARI B E, FLOCH J M. Low-profile wideband monopole antenna for mobile and wireless monitoring applications [J]. *Microwa Opt Technol Lett*, 2016, **58**(8): 1813 – 1817.
- [3] MACHADO M T S, BAPTISTA G M M. Remote sensing as a tool for monitoring Paranoá Lake's water quality (Brasília, Brazil) [J]. *Eng Sanit Ambient*, 2016, **21**(2): 357 – 365.
- [4] KIEFER I, ODERMATT D, ANNEVILLE O, *et al.* Application of remote sensing for the optimization of in-situ sampling for monitoring of phytoplankton abundance in a large lake [J]. *Sci Total Environ*, 2015, **527/528**: 493 – 506.
- [5] IMEN S, CHANG Nibin, YANG Y J. Developing the remote sensing-based early warning system for monitoring TSS concentrations in Lake Mead [J]. *J Environ Manage*, 2015, **160**: 73 – 89.
- [6] LEE S H, MARIAPPAN V, DONG C W, *et al.* Design of in-situ self-diagnosable smart controller for integrated algae monitoring system [J]. *Int J Adv Culture Technol*, 2017, **5**(1): 64 – 69.
- [7] HWANG J, JEONG H, LEE M, *et al.* Cloud-based livestock disease monitoring system using wireless sensor networks [J]. *Asia Life Sci*, 2014(suppl 10): 203 – 220.
- [8] 魏秀娟. 大数据时代畜牧业信息化建设刍议[J]. 中国畜牧杂志, 2014, **50**(10): 38 – 41.
WEI Xiujuan. Animal husbandry information in the age of big data [J]. *Chin J Anim Sci*, 2014, **50**(10): 38 – 41.
- [9] 孙彦琴, 张震, 闫跃飞, 等. 对牧场信息化建设的一点思考[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(8): 88 – 90.
SUN Yanqin, ZHANG Zhen, YAN Yuefei, *et al.* Reflections on the construction of pasture information [J]. *Heilongjiang Anim Sci Vet Med*, 2016(8): 88 – 90.
- [10] 邢斌, 钱建平, 吴晓明, 等. 果蔬类农产品多源追溯系统设计与实现[J]. 食品安全质量监测学报, 2013, **4**(6):

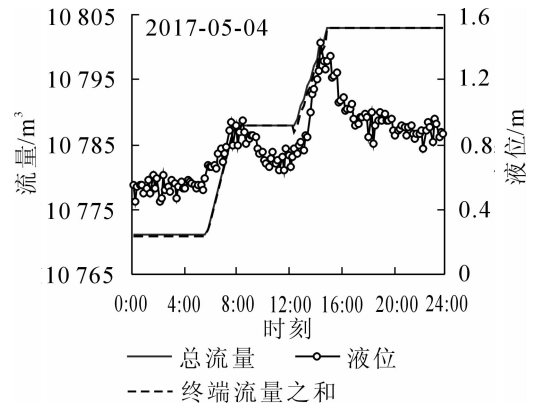


图5 生猪养殖企业污水排放智慧监管示例
Figure 5 Sample of swine effluent discharging wisdom supervision

1705 – 1714.

XING Bin, QIAN Jianping, WU Xiaoming, *et al.* Design and implementation of multiple sources traceability system for fruit and vegetable product [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, **4**(6): 1705 – 1714.

- [11] 王萨仁娜, 韩国栋, 张圣微, 等. 基于 3S 技术的绵羊牧食行为与草地环境相互作用研究[J]. 中国生态农业学报, 2015, **23**(7): 860 – 867.
- WANG Sarena, HAN Guodong, ZHANG Shengwei, *et al.* Analysis of sheep grazing behavior and interaction with grassland environment in desert steppes using 3S [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2015, **23**(7): 860 – 867.
- [12] 谢军峰, 李劲松, 占地潮, 等. 我国畜牧业信息化现状与发展前景[J]. 当代畜牧, 2015(6): 54 – 55.
- XIE Junfeng, LI Jinsong, ZHAN Dichao, *et al.* Current situation and development prospect of livestock informatization in China [J]. *Cont Anim Husb*, 2015(6): 54 – 55.
- [13] 姜海, 雷昊, 白璐, 等. 不同类型地区畜禽养殖废弃物资源化利用管理模式选择: 以江苏省太湖地区为例[J]. 资源科学, 2015, **37**(12): 2430 – 2440.
- JIANG Hai, LEI Hao, BAI Lu, *et al.* Regional livestock waste resource utilization management modes in the Taihu Lake Basin, Jiangsu [J]. *Res Sci*, 2015, **37**(12): 2430 – 2440.
- [14] 孟祥海, 张俊飏, 李鹏, 等. 畜牧业环境污染形势与环境治理政策综述[J]. 生态与农村环境学报, 2014, **30**(1): 1 – 8.
- MENG Xianghai, ZHANG Junbiao, LI Peng, *et al.* Summary of livestock environmental pollution and environmental management policies [J]. *J Ecol Rural Environ*, 2014, **30**(1): 1 – 8.
- [15] 黄美玲, 何庆, 黄夏子, 等. 小球藻处理养殖污水及其资源化利用研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010, **49**(增刊 1): 89 – 93.
- HUANG Meiling, HE Qing, HUANG Xiazi, *et al.* Aquaculture wastewater treatment and resource utilizing by chlorella [J]. *Acta Sci Nat Univ Sunyatseni*, 2010, **49**(suppl 1): 89 – 93.
- [16] 张世羊, 常军军, 高毛林, 等. 曝气对垂直流湿地处理水产养殖废水脱氮的影响[J]. 农业工程学报, 2015, **31**(9): 235 – 241.
- ZHANG Shiyang, CHANG Junjun, GAO Maolin, *et al.* Impact of artificial aeration on nitrogen removal from aquaculture wastewater treated by vertical-flow constructed wetland [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2015, **31**(9): 235 – 241.
- [17] 阎波杰, 赵春江, 潘瑜春, 等. 规模化养殖畜禽粪便量估算及环境影响研究[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(7): 733 – 737.
- YAN Bojie, ZHAO Chunjiang, PAN Yuchun, *et al.* Estimation of the amount of livestock manure and its environmental influence of large-scaled culture based on spatial [J]. *China Environ Sci*, 2009, **29**(7): 733 – 737.
- [18] 谢家兴, 王卫星, 陆华忠, 等. 基于 CC2530 的荔枝园智能灌溉系统设计[J]. 灌溉排水学报, 2014, **33**(4/5): 189 – 194.
- XIE Jiaying, WANG Weixing, LU Huazhong, *et al.* Design of intelligence irrigation system in litchi orchard based on CC2530 [J]. *J Irrig Drain*, 2014, **33**(4/5): 189 – 194.
- [19] 余国雄, 王卫星, 谢家兴, 等. 基于物联网的荔枝园信息获取与智能灌溉专家决策系统[J]. 农业工程学报, 2016, **32**(20): 144 – 152.
- YU Guoxiong, WANG Weixing, XIE Jiaying, *et al.* Information acquisition and expert decision system in litchi orchard based on internet of things [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2016, **32**(20): 144 – 152.