

犊牛饲喂信息系统设计与给奶量预测研究

贺刚^{1,2} 翟改霞² 祝天宇³ 蔡晓华³ 王德成¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院有限公司, 呼和浩特 010010;
3. 黑龙江省农业机械科学工程研究院, 哈尔滨 150081)

摘要: 我国大型牧场在营养免疫与管理效率等方面对犊牛集约化养殖要求不断提高,为此设计了犊牛饲喂信息系统,与养殖管理人员工作模式变革的需求相适应,实现不同日龄犊牛饲喂全过程数据的可视化管理,利用改进的Logistic回归算法预测犊牛的给奶量,实现自动化精确饲喂,保障犊牛的健康发育。基于B/S架构设计了犊牛饲喂信息管理系统,能够采集犊牛基本信息、犊牛体质量、犊牛历史饮奶信息、犊牛实时饮奶信息、饮奶站工作状态等全流程、全要素的各类数据,并实现数据的前端显示和后端保存,实现犊牛饲喂全过程中数据的可视化。基于改进的Logistic回归算法,建立了犊牛给奶量和代乳粉浓度预测模型,改进后的算法运行时间可缩短至0.3 s,算法的效率提高12倍。犊牛养殖试验表明,预测模型具有良好的准确性,试验中犊牛平均实际饮奶率达到95%以上。提高了牧场犊牛管理的智能化、精细化水平,降低了饲喂成本,提高了奶牛场的综合效益。

关键词: 犊牛饲喂; Logistic回归; 信息系统; 数据库

中图分类号: S817.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2022)S2-0241-08

Design of Calf Feeding Information System and Forecast of Milk Supply Quantity

HE Gang^{1,2} ZHAI Gaixia² ZHU Tianyu³ CAI Xiaohua³ WANG Decheng¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Huhhot Branch of Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences Co., Ltd., Huhhot 010010, China
3. Heilongjiang Academy of Agricultural Machinery Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract: With the improvement of the requirements for intensive breeding of calves in large-scale pastures in China, in terms of nutrition, immunity and management efficiency, a feeding information system was designed to realize the visual management of data in the whole feeding process of calves of different ages, aiming to adapt to the needs of the reform of the working mode of breeding managers. Improved Logistic regression algorithm was used to predict the milk supply of calves to realize automatic and accurate feeding, and ensure the healthy development of calves. Based on the B/S architecture, a calf feeding information management system was designed, which can collect the basic information of calves, calf weight, historical milk drinking information of calves, real-time milk drinking information of calves, and working status of milk drinking stations, and all kinds of data of the elements, realizing the front-end display and back-end storage of the data, and visualization of the data in the whole process of calf feeding. Based on the Logistic regression algorithm, a prediction model for the milk supply and milk replacer concentration of calves was established, the running time of the improved algorithm can be shortened to 0.3 s, and the efficiency of the algorithm can be increased by 12 times. The calf breeding test showed that the prediction model had good accuracy. The average actual milk drinking rate of calves in the experiment reached more than 95%. The intelligent and refined level of cattle management reduced feeding costs.

Key words: calf feeding; Logistic regression; information system; database

收稿日期: 2022-06-16 修回日期: 2022-08-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFE0125400、2016YFD0701703)

作者简介: 贺刚(1978—),男,博士生,中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院有限公司正高级工程师,主要从事畜牧业机械自动化研究,E-mail: hegang001@163.com

通信作者: 王德成(1965—),男,教授,博士生导师,主要从事草业机械装备研究,E-mail: wdc@cau.edu.cn

0 引言

犊牛饲喂过程管理对其成年后的身体状况、产奶量及淘汰胎次有着至关重要的影响,因此犊牛饲喂过程管理是奶牛场管理的关键环节之一^[1-3]。国外发达国家较早地开展了犊牛饲喂过程机械化、智能化、精细化相关研究^[4],并生产了相关的技术装备。比如瑞典利拉伐公司生产的 CF500 型犊牛饲喂机,荷兰 Lely 公司生产的犊牛饮奶站,德国 Urban 犊牛自动饲喂设备,都具有较高的饲喂效率,能够满足大型牧场的犊牛饮奶需求^[5]。

目前国内的饲喂装置类型主要分为手持式、挂桶式、管道式等。白阳等^[6-7]研发了一种具有疾病报警、精确计量功能的自动化饲喂系统。曲永利等^[8]设计了一种手持饲喂装置,但该装置人工成本较高。张开兴等^[9]研发了一种整流格栅和工作介质循环系统。文献[10-11]针对不同日龄犊牛进行液体日粮的科学饲养、装置设计和自动化控制的优化设计,同时记录饲喂量和躺卧行为等数据,降低犊牛患病的概率。我国传统的犊牛饲喂过程主要以

人工为主^[12],这种饲喂方式存在以下问题:劳动强度大、管理不够智能化、无法保留历史数据、无法做到全过程管理^[13-14];为避免交叉感染,一头犊牛饮奶后,饮奶装置里面的剩余牛奶必须倒掉,而目前传统犊牛饲喂方案中,每次的给奶量大多是相同的,无法做到精细化饲喂^[15],不仅存在较大的浪费,若给奶量大,会影响犊牛对牧草颗粒饲料的摄入量,影响瘤胃发育,若给奶量不足,会导致发育迟缓等相应问题。

为此,结合犊牛饲喂现状及管理需求^[16-17],本文设计一种信息管理系统软件,并提出一种基于机器学习技术的回归分析算法,精准预测合理的给奶量,以实现犊牛智能化、精细化饲喂。

1 犊牛饲喂信息系统设计

1.1 犊牛饲喂信息系统总体设计

根据犊牛饲喂现状及管理需求进行系统的总体业务架构设计,总体业务架构共分为展示层、系统应用层、支撑层、数据资源层和基础设施层 5 部分,系统总体业务架构如图 1 所示。

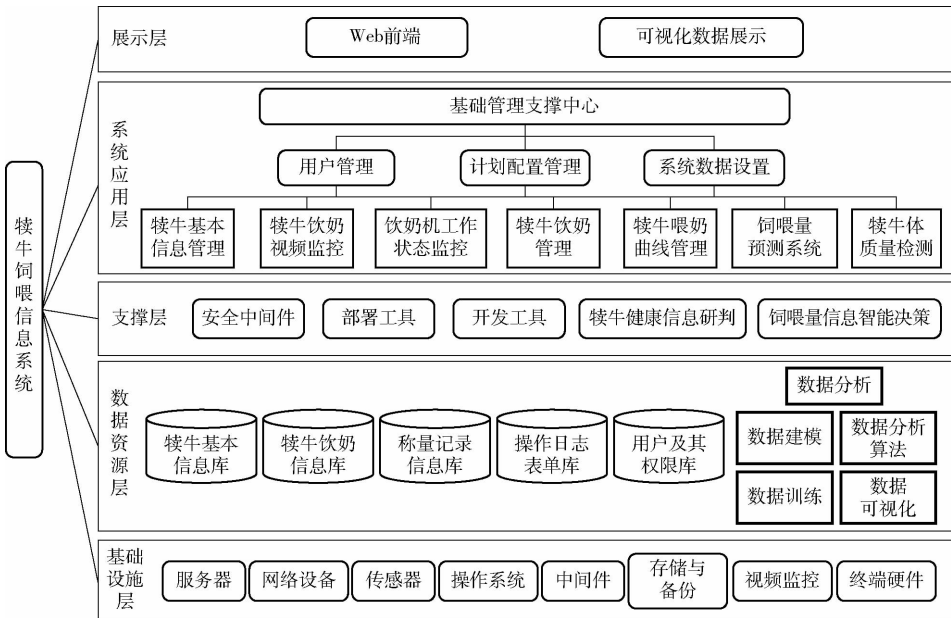


图 1 系统总体业务架构
Fig. 1 Business framework of overall system

系统整体采用 B/S 架构实现,系统由 3 部分组成,其组成结构及数据流如图 2 所示,分别是采集端、展示端(前端)和服务端(后端)。采集端收集不同输入来源的数据(包括传感器数据和视频监控数据),对数据做相应的处理后,传给前端展示或将数据送给后端保存。前端主要是将采集到的实时数据或保存的历史数据进行可视化展示,方便管理人员及时准确掌握犊牛健康状况、饮奶情况、饲喂机工作状态,以及通过查询历史数据分析饲喂过程和犊牛

生长发育过程,做出科学决策。服务端则负责保存数据,执行结构化查询(SQL),运行给奶量预测算法,接收前端的页面请求,并返回结果。

系统的采集端和服务端基于微软 Windows 平台,展示端基于现代浏览器。其中,采集端使用 C 语言开发,调用 Win32API 串口通信接口和 winsock2 网络通信接口来接收下位机传过来的传感器数据。视频采集方面,采用海康威视高清网络摄像机;服务端采用开源的 Web 服务器如 Apache HTTP Server,

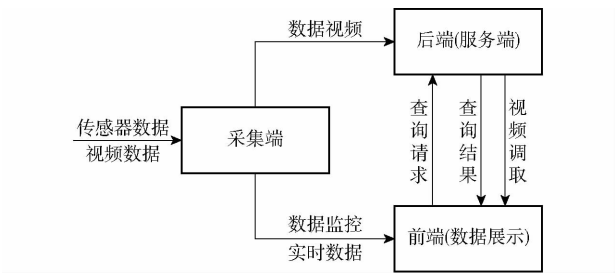


图 2 系统组成和数据流

Fig. 2 System composition and data flow

业务逻辑开发语言使用 PHP,数据库采用开源的 MySQL,为简化配置,服务端也可采用 WAMP 开发套件^[18]。视频存储采用海康威视网络硬盘录像机(NVR)^[19];前端采用基于 Vue 框架的网页开发技术,做到前后端数据分离,扩展性更好。

1.2 系统各模块设计

1.2.1 数据采集模块设计

数据采集模块主要采集的数据有:犊牛耳标号、犊牛体质量(kg)、出奶温度(℃)、每次给奶量(mL)、犊牛每次实际饮奶量(mL)、代乳粉和水配比(g/(100 mL))、犊牛饮奶时间、代乳粉料斗剩余量(kg)、饮奶装置工作状态等,如图 3 所示。其中,除最后两项数据外,其他项数据必须一次性打包送往后端,打包过程必须是原子性操作,以保证后端数据的完整性。同时,这些数据也应该传给前端页面,用以可视化展示犊牛实时饮奶过程。最后,高清摄像头也应实时采集犊牛饮奶的画面。

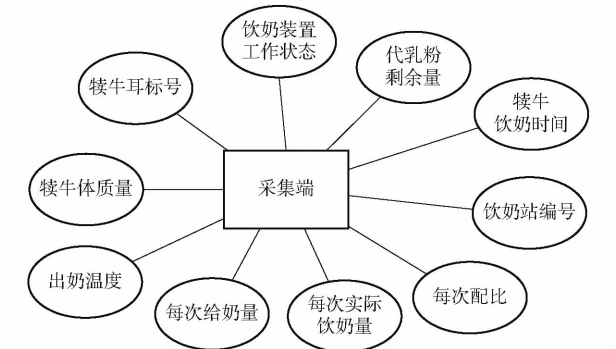


图 3 采集端数据项

Fig. 3 Data items of collection end

考虑到系统的可扩展性和今后可能会增加更多饮奶装置的需求,以上数据的每一项,都需要在下位机上传之前加上饮奶站的编号,表明数据的获取地点信息。这也需要采集端程序在处理数据时将编号剥离,并单独处理,以保证数据的正确性。

1.2.2 服务端软件设计

1.2.2.1 数据库设计

数据库设计采用实体-联系模型分析方法,经过对业务逻辑的分析,得出该系统存在的实体和实体的属性,以及实体之间的联系,利用 phpMyAdmin 可

视化图形工具连接数据库,即可设计出所需的数据库表。数据库表结构如表 1 所示。

表 1 数据库表结构
Tab. 1 Database table structure

数据库名称	序号	字段名	类型	注释
犊牛基本信息表	1	calf_ear_num	CHAR(5)	犊牛耳标号
	2	calf_type	INTEGER	犊牛品种
	3	calf_sex	CHAR(1)	犊牛性别
	4	calf_birthday	DATE	犊牛出生日期
	5	calf_birth_weight	FLOAT	犊牛出生时体质量
基本参数记录表	1	id	INTEGER	记录 id
	2	calf_ear_num	CHAR(5)	犊牛耳标号
	3	time	DATETIME	饮奶时间
	4	temp	FLOAT	饮奶温度
	5	volume_drink	INTEGER	饮奶量
	6	volume_all	INTEGER	给奶量
	7	rate	INTEGER	每次配比
犊牛体质量记录表	1	calf_num	CHAR(5)	犊牛耳标号
	2	time	DATETIME	称量时间
	3	weight	FLOAT	犊牛体质量

1.2.2.2 Web 服务器软件设计

Web 服务器程序使用 PHP(版本 7)编写,PHP 自带非常强大的数据库连接和执行 SQL 的能力,且使用方便,并且在版本 7 中,PHP 大幅优化了运行效率,其运行速度比版本 5 提升了 2 倍多。除了有强大的数据库扩展外,PHP 还有其他功能丰富的扩展,使用这些扩展可以为软件编写带来很大方便。Web 服务端程序可分为数据库连接模块、执行 SQL 语句模块、读取视频流模块和页面文件模块。

1.2.3 前端界面设计

前端界面的功能分为用户认证模块、犊牛基本信息管理模块、犊牛体质量监测模块、犊牛饮奶信息查询模块、犊牛实时饮奶信息模块、犊牛饮奶视频监控模块、饮奶站工作状态模块、犊牛喂奶曲线管理等模块。系统操作流程如图 4 所示。前端界面布局主要分为 4 部分:犊牛基本信息管理、犊牛体质量监测、犊牛饮奶管理和饮奶机工作状态展示。

1.2.3.1 犊牛基本信息管理

用户可以通过该模块管理犊牛基本信息。具体功能包括:查询单个或所有犊牛的信息,添加、修改、删除犊牛基本信息,批量导入导出信息。犊牛信息主要包括:犊牛耳标号、出生日期、出生时犊牛体质量等信息。该模块通过后端服务器和数据库中的犊牛基本信息表 t_calfbaseinfo 进行交互调取。

1.2.3.2 犊牛体质量监测

该模块的作用是展示犊牛体质量数据,由于每次犊牛饮奶时都要称量,因此可以准确了解犊牛体

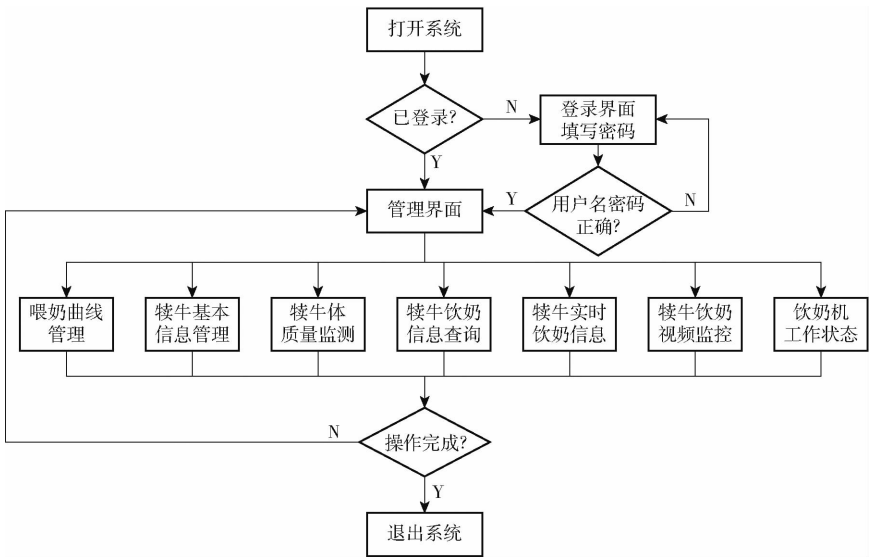


图 4 系统操作流程

Fig. 4 System operation flow chart

质量的变化。该模块从数据库表中查询出犊牛体质量记录,并以曲线图的方式直观展示,也可以与犊牛的喂曲曲线叠加到一起展示,便于牧场管理人员了解犊牛的生长情况,及时调整喂奶频率与喂奶量,达到更好的饲喂效果。该模块在做查询时,需要将数据库中的犊牛基本信息表 $t_calfbaseinfo$ 与犊牛称量记录表 $t_calfweightrecord$ 连接查询。

1. 2. 3. 3 犊牛饮奶管理

该模块的作用是展示犊牛每次的饮奶量,设计采用 MVC 模式,将数据(模型)和展示方式分离(视图),可以做到用两种不同的统计图表(折线图和柱状图)来进行数据可视化。该模块可以查询某头犊牛的所有饮奶历史记录,犊牛每次饮奶时间,以及每次饮奶的代乳粉配比,并结合预定义的饲喂模型和饲喂计划,分析饲喂效果,给出饲喂建议,便于牛场工作人员及时调整饲喂量。

该模块还能让用户自定义饲喂曲线^[20],系统会自动生成饲喂计划,每次犊牛来饮奶时,即可按照计划饲喂。该模块在做查询时,需要将犊牛基本信息表 $t_calfbaseinfo$ 和犊牛饮奶记录表 $t_calfdrinkrecord$ 连接查询。该模块还可以导出犊牛饮奶数据到 Excel 表。

1. 2. 3. 4 饮奶机工作状态显示

前端页面上还可以显示饮奶机的工作状态,饮奶机的当前状态有:“空闲”、“正在喂奶”、“代乳粉不足”、“缺水”、“正在清洁”、“机械故障”、“其他故障”等。这些状态数据由饮奶机上的单片机产生^[21],通过网络传输给采集模块^[22],再由采集模块更新到展示端,保证了状态数据的实时性。通过该模块可以实时查看当前是否有犊牛正在饮奶、犊牛

饮奶的实时视频、犊牛饮奶时饮奶机实时流量变化、出奶的温度等^[23]。还能够显示代乳粉料斗中的剩余量,若余量不足会及时在页面上显示警告。

2 基于回归分析的饮奶量预测算法

本文提出一种基于 Logistic 回归分析的预测算法,并对该算法进行改进优化。该算法基于系统的历史数据,主要依据犊牛的出生天数、品种、健康状况、饮奶时间、上次饮奶量、上次剩奶量、饮奶温度等变量来预测下一次需要的给奶量和代乳粉浓度。

2. 1 Logistic 回归分析算法

Logistic 回归分析使用 Sigmoid 函数进行分类,具体计算公式为

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \tag{1}$$

其中 $z = w_1x_1 + w_2x_2 + \cdots + w_nx_n$
式中 σ ——Sigmoid 函数
 z ——中间变量
 w_i ——第 i 个特征值权重
 x_i ——第 i 个特征值

回归分析的最终目的是确定各项系数。标准的求解最优化回归系数的方法为梯度上升算法。

梯度上升算法的核心思想是:为了找到某函数的最大(小)值,最快的方式就是顺着函数梯度的方向搜索。设每次增加的步长为 a ,用向量表示梯度上升算法的迭代公式为

$$W = W_0 + a \nabla w f(W) \tag{2}$$

式中 ∇w ——方向向量梯度
 W_0 ——方向向量初始值
 W ——方向向量

梯度上升算法首先将回归系数初始化为 1, 然后重复 r 次, 计算整个数据集的梯度, 并用 $a\nabla w$ 更新回归系数向量, 最后返回回归系数向量, 具体流程如图 5 所示。取 $r=500, a=0.001$, 算法在 100 个数据点的数据集 U 上分类效果如图 6 所示。

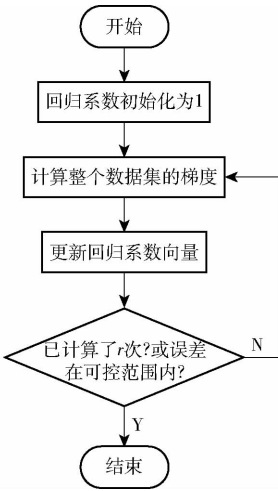


图 5 梯度上升算法流程图

Fig. 5 Gradient ascent algorithm flowchart

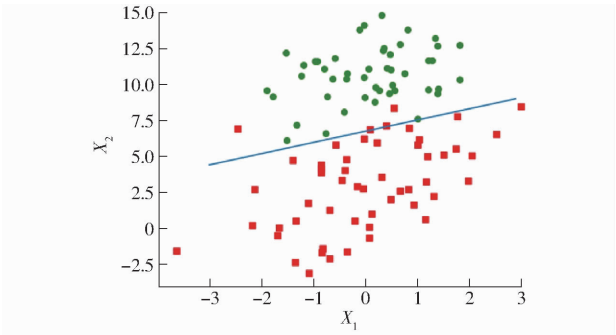


图 6 梯度上升算法在 100 个数据点的数据集上执行结果

Fig. 6 Performance of gradient ascent algorithm on dataset of 100 data points

2.2 Logistic 回归算法的问题及优化

虽然在数据集 U 上该算法能很好的分类, 但经过分析, 算法存在以下问题: 算法的计算量偏大, 每次迭代内部都涉及到矩阵乘法运算, 在上述 2 个特征 100 个数据量的小型数据集上, 每次迭代需要 300 次乘法运算, 需要迭代 500 次, 计算量较大, 可以看出, 算法的总计算量与数据规模、特征个数、迭代次数的乘积成正比。为便于和后面的改进算法进行比较, 本文运行该算法 200 次, 得到的运行时间为 3.706 s。

针对第 1 个问题, 本文提出改进的梯度上升算法, 流程如图 7 所示。

算法的第 2 个问题是收敛较慢。上述算法仅在数据集上迭代了一次, 为研究回归系数的收敛情况, 可以让算法迭代 200 次, 在每次迭代中对 100 个数据项依次迭代求系数, 共计算 2×10^4 次, 可得回归系数的收敛情况如图 8 所示。

据项依次迭代求系数, 共计算 2×10^4 次, 可得回归系数的收敛情况如图 8 所示。

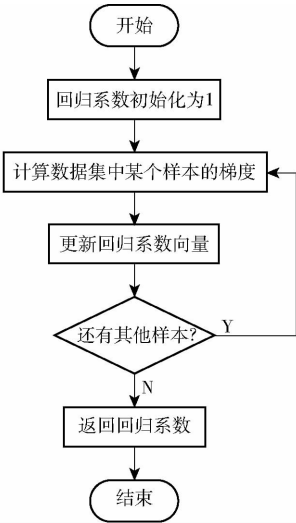


图 7 改进的梯度上升算法流程图

Fig. 7 Improved gradient ascent algorithm flowchart

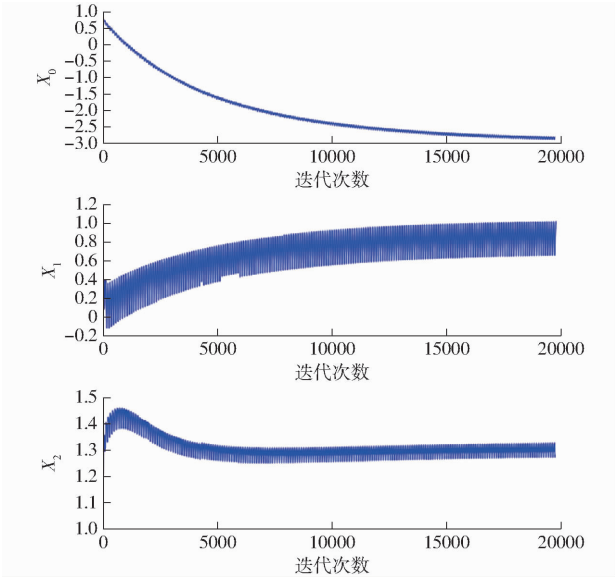


图 8 回归系数的收敛情况

Fig. 8 Convergence of regression coefficients

可以看出, 系数 X_2 在算法迭代大约 50 次 (数据迭代 5 000 次) 左右就开始收敛, 但其他两个系数收敛较慢。另外值得注意的是, 系数 X_1 产生了较大的抖动现象, 经分析, 产生这种现象的原因是原数据集并不总是线性可分的, 存在一些不能正确分类的样本。

对上述算法提出两项改进:

(1) 算法中每次迭代的步长为定值, 这是算法产生抖动的原因, 令

$$a = \frac{3}{1 + i + j} + 0.001$$

(3)

式中 i ——算法迭代索引序号

j ——数据迭代索引序号

(2)每次更新回归系数时,随机选取一个样本进行计算,然后删除该样本。这样可以将前一算法中的矩阵运算简化,减少计算量。改进后算法输入为样本集合 U 、类别标签 classLabel 、算法迭代次数 N_{iter} ,算法流程如图 9 所示。图中更新回归系数向量公式为

$$\mathbf{W} = \mathbf{W} + acU[R_{\text{Index}}]$$

(4)

式中 c ——计算的类别与该样本实际类别的差值
 R_{Index} ——随机选取的样本索引

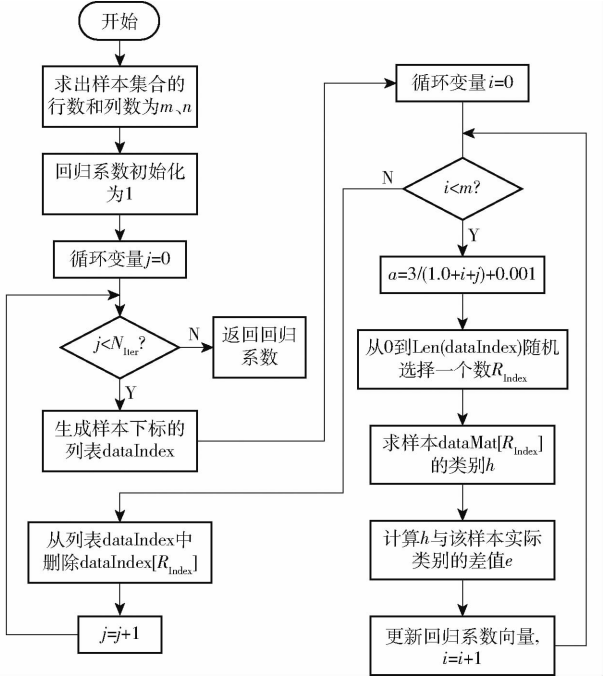


图 9 算法流程图
Fig. 9 Algorithm flowchart

改进后,回归系数在迭代中的收敛情况如图 10 所示,可以看到,改进后的算法很好地解决了存在的问题。改进后算法迭代运行 200 次的运行时间为 0.3 s,可以看出算法的效率提高了 12 倍。

3 犊牛饮奶量预测试验

3.1 数据预处理和人工分类

数据来自于犊牛饲喂信息系统的数据库,使用 SQL 查询出犊牛的所有饮奶信息。其中,数据库保存的犊牛饮奶时间是某一时刻的时间,需要转换为该时刻相对于当天 0 时刻所经过的时间。犊牛每次的剩奶量不仅与每次的饮奶量有关,而且与每次的给奶量也有关,因此算法还需引入每次的饮奶率,即

$$p = \frac{l}{m} \times 100\%$$

(5)

式中 p ——犊牛每次饮奶率
 l ——犊牛每次饮奶量, mL
 m ——犊牛每次给奶量, mL

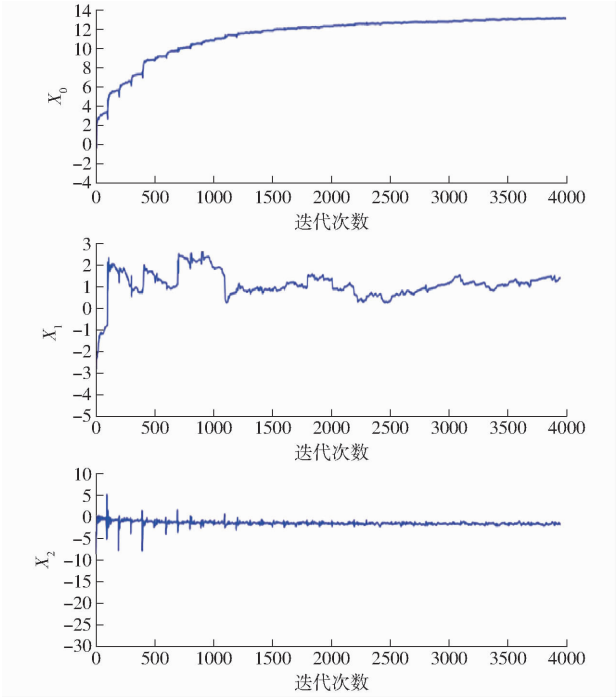


图 10 改进后回归系数在迭代中的收敛情况
Fig. 10 Convergence of improved regression coefficients in iteration

还需要人工查看每次犊牛饮奶的视频回放,标定出每次犊牛饮奶时是否健康,即对犊牛按照健康状况进行分类。

首先,由于大多数数据是传感器通过网络上传,这其中不可避免存在某些数据特征无效(包括没有数据和出现奇异值),这种情况下,丢掉整条数据记录是不可取的,目前解决方法有:①均值法,即使用该特征的均值来填补无效值;②特殊值法,即使用特殊值来填补无效值,如 -1;③特征值法,即使用相似样本的特征值来填补无效值。本文使用特殊值法,即用特殊值 0 来替换所有的无效值。选择实数 0 的原因是:在更新时不影响系数值,回归系数的更新公式为

$$\mathbf{W} = \mathbf{W} + arU[j]$$

(6)

如果 U 的某个特征值为 0,则系数将不做更新。
另外,由于 $\text{sigmoid}(0) = 0.5$,即它对结果的预测不具有任何倾向性,因此也不会对误差造成任何影响。基于以上原因,将无效值用 0 代替既可以保证不污染现有数据,也不需要修改算法。

对数据进行预处理的第 2 项工作是对犊牛的健康状况进行人工识别。犊牛在每次饮奶时,系统都会进行录像并保存,通过人工观看犊牛饮奶时的录像,能够对犊牛的健康状况进行评价,从而对数据进行分类。

最终收集到的数据每行格式如下:
“出生天数”+“品种”+“性别”+“当前体质

量”+“饮奶时间”+“给奶量”+“饮奶率”+“代乳粉浓度”+“代乳粉温度”+“是否健康”+“\n”

将数据集按 8:2 分为训练集和验证集。

3.2 试验过程及结果

为验证算法的正确性,本文设计了犊牛饲喂信息管理系统整机试验,试验于 2021 年 3 月 1 日—4 月 24 日在哈尔滨市五常县周家奶牛养殖场进行,如图 11、12 所示。试验使用 3.1 节预处理后的数据,通过运行改进后的 Logistic 回归算法,得出了各项数据的回归系数,建立了通过犊牛饮奶情况预测犊牛是否健康的机器学习模型。



图 11 设备调试过程

Fig. 11 Equipment debugging process



图 12 饲喂试验犊牛采食过程

Fig. 12 Feeding process of experimental calves

在验证数据集上,对 162 个训练集和 43 个验证集模型分类准确率进行试验,其中分类正确 39 个,错误 4 个,结果表明该算法分类准确率为 90.7%。

本研究目的是保证犊牛健康的前提下,预测犊牛下次的给奶量。因此利用上述模型,输入喂奶数据和犊牛当前参数,并控制犊牛下次的饮奶率为 90% 且下次给奶量与上次给奶量相同,以及犊牛出生天数、犊牛品种、当前犊牛体质量、饮奶时间、代乳

粉浓度、代乳粉温度,得出犊牛是否健康。如果结果是不健康,则可以适当增加给奶量重新计算;如果结果为健康,则适当减少给奶量并重新计算,直到获得一个比较经济的给奶量,并将此值作为预测数据来指导喂奶。经过 10 d 的数据记录,针对不同出生天数的犊牛预测的平均每次给奶量和实际的饮奶率数据如表 2 所示。

表 2 算法预测的饮奶量和实际饮奶率

Tab. 2 Algorithm-predicted milk intake and actual milk intake rate

出生时间/d	每次给奶量/g	每次饮奶量/g	实际饮奶率/%
7	1 690	1 690	100
14	2 100	2 000	95. 2
21	2 700	2 660	98. 5
28	2 900	2 800	96. 6
35	2 900	2 900	100
42	2 600	2 500	96. 2

对试验犊牛进行持续的健康监测和犊牛体质量监测,观察每头犊牛的生长发育情况。观察结果表明,按照系统预测的给奶量进行饲喂,犊牛的生长发育状况都非常良好,不同出生日期的犊牛体质量都达到了标准体质量,从而验证了算法预测的准确性,实验中犊牛有 95% 以上的平均实际饮奶率,说明该预测算法有较好的经济性,能够显著减少代乳粉的浪费,节约牧场成本。

4 结论

(1)在分析了犊牛自动化饮奶过程的基础上,提出了犊牛饲喂的若干数据可视化及管理需求,基于 PHP 和 Web 开发环境,结合 MySQL 数据库,设计了犊牛饲喂信息系统软件。该系统界面操作简单,功能完善,并具有一定的扩展性,方便后期进行升级。该系统能够有效地管理犊牛饮奶过程中产生的数据,提高牧场管理水平,帮助管理人员进行科学分析和决策。

(2)分析并改进了 Logistic 回归分析算法,并提出了一种基于 Logistic 回归模型的犊牛给奶量预测算法,该算法能够给出每次喂奶量,在保证犊牛健康的前提下,提高每次犊牛的饮奶率,减少牛奶浪费,节约饲养成本,为后续犊牛瘤胃和肠道等消化器官的发育起到促进作用,为犊牛日后的鲜奶高产奠定基础。

参 考 文 献

[1] 高凯,黄有竹,李宇辉,等. 多功能一体化犊牛饲喂装备的设计与研制[J]. 新疆农机化,2021(6):29-30,46.
GAO Kai, HUANG Youzhu, LI Yihui, et al. Design and development of multifunctional integrated calf feeding equipment[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2021(6):29-30,46. (in Chinese)

[2] 周博文,仇普斌,郝东升,等. 不同犊牛饲喂模式案例分析[J]. 中国乳业,2021(10):72-77.
ZHOU Bowen, QIU Pubin, HAO Dongsheng, et al. Case analysis of different calf feeding modes[J]. China Dairy Industry, 2021

- (10):72–77. (in Chinese)
- [3] 李青,郭刚,闫战胜,等. 不同哺乳期犊牛饲喂方案的研究与应用[J]. 中国乳业,2020(6):55–58.
LI Qing, GUO Gang, YAN Zhansheng, et al. Research and application of feeding programs for calves in different lactation periods[J]. China Dairy Industry,2020(6):55–58. (in Chinese)
- [4] PALCZYNSKI L J, BLEACH E, BRENNAN M L, et al. Appropriate dairy calf feeding from birth to weaning: “It’s an investment for the future”[J]. Animals (Basel),2020,10(1):116.
- [5] 翟改霞,贺刚,戴晓军,等. 智能化犊牛饲喂系统及国外典型机型[J]. 农业工程,2015,5(4):5–8.
ZHAI Gaixia, HE Gang, DAI Xiaojun, et al. Intelligent calf feeding system and typical foreign models[J]. Agricultural Engineering,2015,5(4):5–8. (in Chinese)
- [6] 白阳. 新型犊牛饲喂系统研制[D]. 北京:中国农业大学,2019.
BAI Yang. The development of new calves feeding system[D]. Beijing: China Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [7] BAI Yang, WANG Decheng, WANG Guanghui. Design of automatic calf feeding control system[C] // ASABE Annual International Meeting, 2016.
- [8] 曲永利,王志博,刘立成,等. 犊牛水乳两用饲喂装置:102919139A[P]. 2013–02–13.
- [9] 张开兴,李科,张开峰,等. 搅拌式高精度恒温槽设计与试验[J]. 农业机械学报,2021,52(3):418–426.
ZHANG Kaixing, LI Ke, ZHANG Kaifeng, et al. Design and test of high precision thermostat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(3): 418–426. (in Chinese)
- [10] 靳蜜肖,李亚敏,曾立华. 一种犊牛饲喂控制系统的设计[J]. 浙江农业学报,2014,26(1):206–209.
JIN Mixiao, LI Yamin, ZENG Lihua. A design of the feeding control system for calf[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2014, 26(1): 206–209. (in Chinese)
- [11] 于畅畅,李洪文,何进,等. 基于PID算法的高频间歇供肥系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2020,51(11):45–53,63.
YU Changchang, LI Hongwen, HE Jin, et al. Design and experiment of high-frequency intermittent fertilizer supply system based on PID algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11):45–53, 63. (in Chinese)
- [12] 陈华,刘孟夫. 基于自动饲喂机的犊牛饲喂模式研究——以佛山澳纯乳业南丹山牧场为例[J]. 现代农业装备,2020,41(5):24–29.
CHEN Hua, LIU Mengfu. Research on the feeding mode of calves based on automatic feeding machine-taking the Nandanshan Ranch of Foshan Aushuang Dairy as an example[J]. Modern Agricultural Equipment,2020,41(5):24–29. (in Chinese)
- [13] 孟秀荣,李文博,王一江,等. 犊牛饲养管理模式的变革[J]. 中国奶牛,2013(2):59–61.
MENG Xiurong, LI Wenbo, WANG Yijiang, et al. Reform of calf feeding and management mode[J]. Chinese Dairy Cow, 2013(2):59–61. (in Chinese)
- [14] 张健,李小明,薛令阳. 智能化犊牛饲喂的机械化配置、技术路线及技术要求[J]. 中国奶牛,2015(21):40–44.
ZHANG Jian, LI Xiaoming, XUE Lingyang. Mechanization configuration, technical route and technical requirements of intelligent calf feeding[J]. Chinese Dairy Cow, 2015(21):40–44. (in Chinese)
- [15] 曾景华,孟现成. 奶牛场犊牛饲养管理应注意的问题[J]. 中国畜牧兽医文摘,2017,33(12):83.
ZENG Jinghua, MENG Xiancheng. Problems that should be paid attention to in the feeding and management of calves in dairy farms[J]. Chinese Animal Husbandry and Veterinary Abstracts,2017,33(12):83. (in Chinese)
- [16] 单良. 哺乳期犊牛饲养管理技术[J]. 中国动物保健,2020,22(1):43.
SHAN Liang. Feeding and management technology of calves during lactation[J]. China Animal Health, 2020,22(1):43. (in Chinese)
- [17] 吴新声,丁志欣. 犊牛精确饲喂技术装备研究现状分析[J]. 新疆农机化,2015(3):23–26.
WU Xinsheng, DING Zhixin. Analysis on research status of precision feeding technology and equipment for calves[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2015(3):23–26. (in Chinese)
- [18] 熊辉. PHP技术与MySQL数据库技术的Web动态网页设计[J]. 信息记录材料,2021,22(1):115–116.
XIONG Hui. Dynamic web page design with PHP technology and MySQL database technology[J]. Information Recording Material, 2021,22(1):115–116. (in Chinese)
- [19] 花俊国,周永亮,花俊治,等. 奶牛自动饲喂系统的研究与开发[J]. 农业工程学报,2006,22(增刊2):79–83.
HUA Junguo, ZHOU Yongliang, HUA Junzhi, et al. Research and development of automatic feeding system for dairy cows[J]. Transactions of the CSAE, 2006,22(Supp. 2):79–83. (in Chinese)
- [20] 王俊伟. 智能化犊牛饲喂及管理系统可行性分析[J]. 中国畜牧业,2013(7):62–63.
WANG Junwei. Feasibility analysis of intelligent calf feeding management system[J]. Chinese Animal Husbandry,2013(7):62–63. (in Chinese)
- [21] 张炎. 基于嵌入式Linux的犊牛饲喂与监控系统[D]. 北京:北京理工大学,2018.
ZHANG Yan. Calf feeding and monitoring system based on embedded Linux[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2018. (in Chinese)
- [22] 岳庆磊,李明贵. 规模化奶牛场数字化集成技术应用试验[J]. 中国畜禽种业,2017,13(3):76–77.
YUE Qinglei, LI Mingui. Application test of digital integration technology in large scale dairy farm[J]. The Chinese Livestock and Poultry Breeding, 2017,13(3):76–77. (in Chinese)
- [23] 闫海峰,蒙贺伟,路士兴,等. 犊牛饲喂信息管理系统的设计与开发[J]. 新疆农垦科技,2016,39(8):52–56.
YAN Haifeng, MENG Hewei, LU Shixing, et al. Design and development of calf feeding information management system[J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2016,39(8):52–56. (in Chinese)