

基于微服务和 GRU 的卷烟工艺质量 预警系统设计

杨俊杰¹, 徐志强², 张军¹, 万宇超¹, 欧阳敏¹, 范安平¹, 许冰洋¹

(1. 江西中烟工业有限责任公司 技术中心, 南昌 330000;

2. 江西中烟工业有限责任公司 广丰卷烟厂, 江西 上饶 334600)

摘要: 针对传统的卷烟工艺质量预警系统自动化程度低, 提出一种基于微服务和 GRU 的卷烟工艺质量预警系统; 该系统采用 Spring Cloud 微服务架构, 分为数据资源层、微服务组件、业务层和网关层, 可以满足不同场景的集成需求; 搭建了卷烟生产过程监控数据库, 结合注意力机制改进 GRU 建立卷烟加工工艺质量预警模型, 并与传统方法逻辑回归、支持向量机、GRU 进行对比; 经实验测试证明, 该预警模型的平均绝对误差和均方根误差分别为 0.381 和 0.570, 模型预测效果和系统性能均优于其它方法, 更加有效地实现了工艺质量预警, 提高了卷烟加工过程自动化程度。

关键词: 微服务架构; 质量预警; Spring Cloud; 注意力机制; 门控循环单元

Design of the Cigarette Process Quality Monitoring System Based on Micro services and GRU

YANG Junjie¹, XU Zhiqiang², ZHANG Jun¹, WAN Yuchao¹, OUYANG Min¹,
FAN Anping¹, XU Bingyang¹

(1. Technology Center, Jiangxi China Tobacco Industry Co., Ltd., Nanchang 330000, China;

2. Guangfeng Cigarette Factory, Jiangxi China Tobacco Industry Co., Ltd., Shangrao 334600, China)

Abstract: In response to the low automation level in traditional cigarette manufacturing process quality warning systems, this paper proposes a cigarette process quality warning system based on microservices and Gated Recurrent Unit (GRU). The system adopts the Spring Cloud microservice architecture, which is composed of the data resource layer, microservice components, business layer, and gateway layer, meeting the integration requirements in various scenarios. A monitoring database for cigarette production processes is presented, and an attention mechanism is integrated to improve the GRU and construct the cigarette process quality warning model, which makes a comparative analysis with traditional methods such as logistic regression, support vector machine, and the GRU. Experimental results demonstrate that the proposed warning model achieves an average absolute error of 0.381 and a root mean square error of 0.570. The predictive performance and efficiency of the method are superior to those of other ones, effectively realizing process quality warning and enhancing the automation level of cigarette processing.

Keywords: microservice architecture; quality warning; Spring Cloud; attention mechanism; GRU

0 引言

随着全球卷烟市场的不断扩大和竞争的加剧, 卷烟生产企业越来越注重产品质量的稳定性。卷烟生产涉及复杂的加工工序, 每个环节的工艺质量问题都可能对最终产品的质量产生不可忽视的影响。因此, 建立高效的卷烟工艺质量预警系统成为卷烟行业的紧迫需求之一。传统的卷烟工艺质量预警系统通常采用集中式架构, 文献 [1] 针对烟草行业不同品牌烟丝生产中存在的错牌、混批、电子参数信息传输错误等问题, 设计了一种基于 WinCC 组态软件和

PLC 分布式控制程序的全智能质量防错系统。文献 [2] 基于 MES 对卷烟企业滤嘴质量体系进行研究, 提出建设性的信息管理系统需求分析, 强调卷烟工艺质量控制过程中系统功能模块设计的必要性。文献 [3] 利用 NET 平台设计并实施卷烟产品质量管理信息系统, 该系统采用客户端程序实现对 QTM 检测站数据的实时采集, 并实现卷烟产品工艺质量检验的自动化判断。卷烟加工过程包括制丝和卷包, 其中制丝包括叶组烟丝和成品烟丝, 卷包包括烟支卷接和烟支包装。整个过程中, 温度、湿度、气流速度等时序数

收稿日期: 2023-10-23; 修回日期: 2023-12-05。

基金项目: 江西中烟工业有限责任公司科技项目(2020-09)。

作者简介: 杨俊杰(1983-), 男, 硕士, 工程师。

通讯作者: 许冰洋(1990-), 男, 硕士, 工程师。

引用格式: 杨俊杰, 徐志强, 张军, 等. 基于微服务和 GRU 的卷烟工艺质量预警系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(12): 153-158, 177.

据的工艺参数控制对成品卷烟的质量影响非常关键。传统的集中式架构系统监控效率低下,难以适应不断变化的生产需求。

随着微服务架构(MSA, microservice architectures)的提出,一些先进的制造业领域开始采用微服务架构构建工艺质量预警系统,以应对生产过程中的质量挑战。微服务架构^[4]将系统拆分成小的、自治的服务单元,每个服务单元专注于特定的功能或任务。这使得监控系统更加精细化,可以针对每个服务单元进行监控和管理,而不是整个系统,从而提高工艺质量监控的精确性和效率。文献[5]根据微服务的云特点,将云平台运维技术分为监控运维、资源调度与故障分析三类,并分析每类运维技术中不同方法的优缺点。结合工业需求、当前技术的不足以及微服务云平台运维工作的特点,研究表明微服务架构是企业系统开发的趋势。文献[6]基于微服务架构构建石化企业数字化配电变流交付系统,帮助石化企业全面提升运维效率、设备监控能力和设备管控模式,最终达到石化企业智能化运维的效果。文献[7]基于微服务架构搭建高校隐性教育资源云共享架构,成功实现高校隐性教育资源云共享系统的运行,提高系统的自动化程度。

尽管国内外研究都在努力改进工艺质量监控预警系统,但基于微服务架构的卷烟工艺质量预警系统的研究尚属有限,尤其是与深度学习算法结合的智能预警体系构建不够全面^[8]。因此,为了保障卷烟工艺质量的稳定性,结合江西中烟生产线,本文将微服务架构引入卷烟生产领域,结合改进门控循环神经网络研发了卷烟工艺质量预警系统,以应对质量监控和生产需求的复杂性,更好地提高卷烟生产的质量一致性,减少不合格品的产生,提高生产效率,更好地满足市场的要求。

1 微服务架构与 GRU 算法

1.1 微服务架构

微服务架构是一种软件架构模式^[9],旨在构建复杂的应用程序系统,可以分解为小的、独立的服务单元。每个服务单元代表一个特定的业务功能,并独立部署和运行。这些服务单元通过 API 或消息传递进行通信,以实现完整的应用程序功能。微服务的系统交互模式促进卷烟工艺质量预警系统的自动化程度。模块化的设计降低系统的复杂性,减少不同服务之间的耦合度,提高系统的可维护性和灵活性。微服务架构允许不同的微服务使用适合其需求的技术栈和编程语言,而不受到单一技术栈的限制。由于微服务是独立部署的,一个服务的故障通常不会影响整个系统,这种隔离性使得系统更具容错性。实施微服务架构依赖于适当的框架和工具的选择。一些主流的微服务实现框架包括 docker^[10]、Kubernetes^[11]、Spring Cloud^[12]等。Spring Cloud 是基于 Spring 框架的一组工具,用于构建微服务应用程序,包括服务注册与发现、客户端负载均衡、断路器模式、网关等组件,具有丰富的功能、广泛的生态系

统和强大的社区支持。本文选择使用 Spring Cloud 框架实现的卷烟工艺质量预警系统设计。

1.2 门控循环单元神经网络

在卷烟质量监控中,及时发现和预警异常数据至关重要。门控循环单元 Gated Recurrent Unit (GRU)^[13]是循环神经网络(RNN)^[14]的变种,GRU 引入门控机制,更好地捕捉时序数据中的长期依赖关系。与 RNN 相比,GRU 具有更少的参数,计算代价较低,具有更快的运行速度。GRU 结构如图 1 所示,GRU 包括两个重要的门控单元:更新门(Update Gate)和重置门(Reset Gate)。其中,更新门决定前一时刻的记忆信息有多少会被保留。重置门决定如何将前一时刻的记忆与当前的输入相结合,控制前一时刻的记忆有多少会影响当前时刻的记忆。如果更新门的输出接近 1,表示继承前一时刻的记忆;如果接近 0,表示忘记前一时刻的记忆。

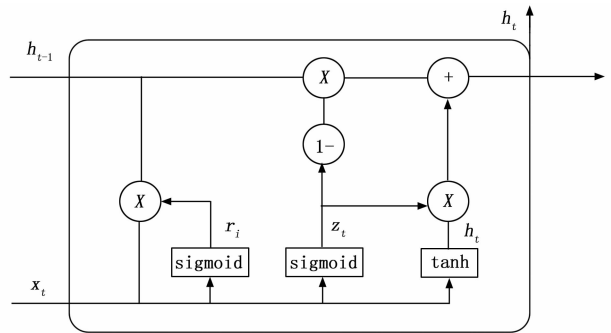


图 1 GRU 结构图

在卷烟工艺质量监控系统中,工艺流程数据通常是时序性的,如生产时间、传感器数据、参数等。将 GRU 算法作为微服务的一部分嵌入到基于微服务架构的卷烟工艺质量预警系统中,使系统不仅具备微服务架构的灵活性和可扩展性,还赋予系统智能分析和预测的能力。GRU 算法的集成使得系统能够实时、精准地进行卷烟工艺质量的预测,提高系统的整体智能水平。

2 基于微服务和 GRU 的卷烟工艺质量预警系统

2.1 系统总体结构设计

针对当前卷烟生产工艺质量监控预警系统过于臃肿庞大,难以维护且扩展困难,本文采用基于 Spring Cloud 的微服务架构对其进行重新设计。将应用程序拆分成多个小型的服务模块,这些服务模块可以独立开发、部署和运行,每个模块负责一个特定的业务功能或服务。系统整体架构如图 2 所示,具体可分为数据资源层、微服务组件、业务层和网关层。系统主要采用 Hadoop^[15]技术体系,支持多种集成模式,包括后台数据库日志读取、Webservice 服务对接^[16]、数据抽取、文件导入解析以及智能传感设备直连等方式,满足不同场景的集成需求。

2.1.1 数据资源层设计

基于微服务架构的卷烟质量监控预警系统中,数据资

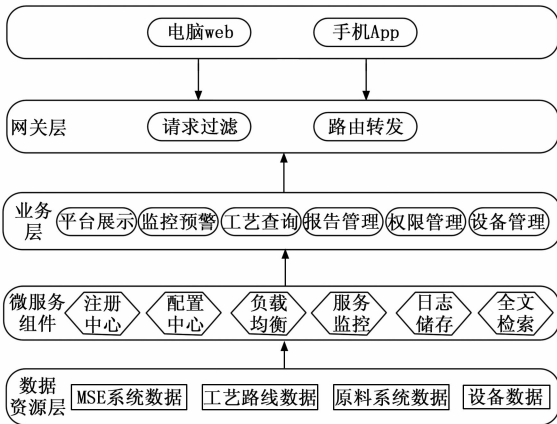


图 2 系统体系结构

源层负责管理和存储系统所需的各种数据,包括卷烟生产数据、监控数据、质量指标、历史记录等。数据资源层的设计影响系统的性能、可用性和数据的完整性。数据资源层首要任务是与各个数据源进行有效的集成和连接,以确保实时获取生产和监控数据。卷烟生产过程中可能涉及多个数据源,包括生产线上的传感器、质量检测设备、生产计划系统等。为了实现数据的实时采集,采用以下策略:采用 OPC (OLE for Process Control)^[17] 协议,用于实时数据推送。这些实时数据被推送到数据湖 (Data Lake) 或数据仓库中,本文选择 Kafka^[18] 作为数据传输的消息队列。Kafka 高吞吐量、低延迟的特性,使得数据能够以流式方式高效地传输。引入 Apache Flink^[19] 作为实时数据处理引擎。Flink 可以对流式数据进行实时加工和计算。Flink 的实时计算能力使得系统能够立即对数据进行响应、识别和处理质量问题以及触发实时预警,这对于卷烟生产中的快速反应至关重要。最终数据存放到 ClickHouse^[20]、Redis^[21] 中供前端调用,使得整个链路能够实现实时计算,流式处理,支持大数据量、高并发场景。数据资源层流程如图 3 所示,从数据采集到实时处理再到存储,能够支持卷烟工艺质量监控预警系统的实时计算和流式处理需求,确保数据的可用性、一致性和可靠性,为前端应用提供高效的数据访问

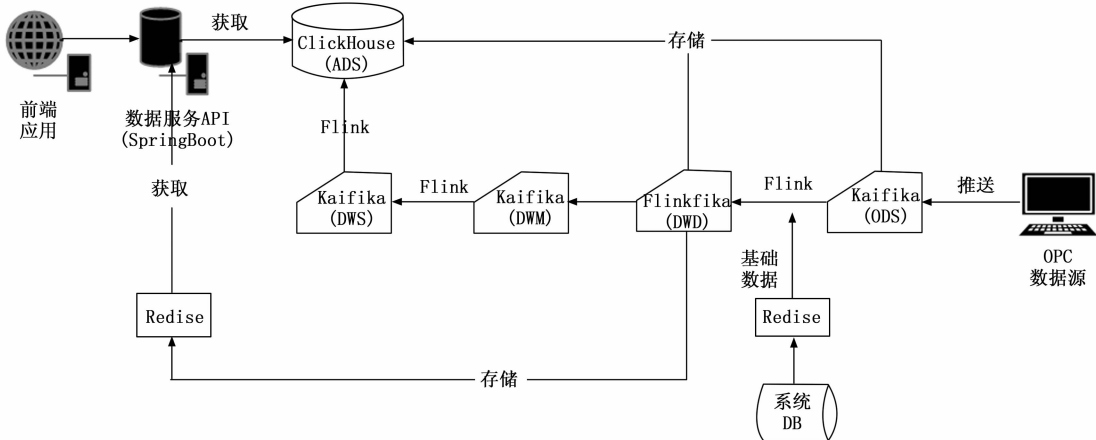


图 3 数据资源层服务流程

和决策支持。

2.1.2 微服务层设计

微服务架构如图 4 所示,使用 Spring Cloud 实现各个组成部分。微服务架构的运作过程如下:首先,服务模块向服务注册中心 (Netflix Eureka) 发送注册信息,包括服务 IP、名称等,使得整个系统中可以发现服务模块。当用户通过 PC、APP 等发起的请求时,首先被系统的微服务网关 (ZuulProxy) 接收,用户请求将被传递给注册中心从而调用适当的微服务模块。当有多个相同类型的服务模块实例运行,以确保高可用性和性能,本文加入 Ribbon 负载均衡器,它可以帮助系统选择要处理请求的具体服务模块实例。确保请求在可用的服务实例之间平均分配,提高系统的稳定性和性能。微服务架构中的服务模块经常需要相互通信以执行复杂的任务。当一个服务模块需要与另一个服务模块交互时,它可以通过服务的名称来查找所需的信息。一旦找到服务,会使用 HTTP 协议进行通信,并允许不同的服务模块之间进行松散耦合的通信,从而支持系统的弹性和可伸缩性。在高并发情况下,为了减轻数据库访问压力,提高访问速度,结合 Redis 数据库实现高速缓存。

2.1.3 业务层设计

业务层的设计在整个卷烟工艺质量预警系统中起着至关重要的作用,其核心思想是通过微服务架构的弱耦合方式,将系统的数据管理、业务功能和系统管理等主要功能模块拆分成细粒度的微服务组件。这些微服务组件为上层服务网关提供业务接口,并通过对接口的封装,将底层的子微服务的调用对上层屏蔽,从而实现整个系统的灵活性、可扩展性和性能优化。业务层包括负载均衡模块和消息队列模块。在服务调用和组合过程中,负载均衡模块起到关键作用,通过比较程序、设定阈值,并根据负载情况来选择集群中负载较低的服务来处理调用请求,在负载过高时弃用请求,以确保系统的性能和可用性。消息队列允许不同组件、微服务或系统之间进行异步通信。发送者将消息发布到队列中,而接收者则可以在合适的时间从队列中获取并处理消息。异步通信机制有助于解耦不同的系统部分,提高了系统的可维护性。

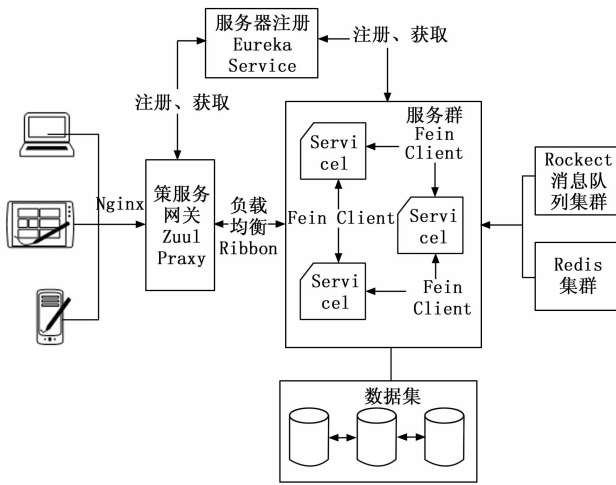


图 4 微服务集群

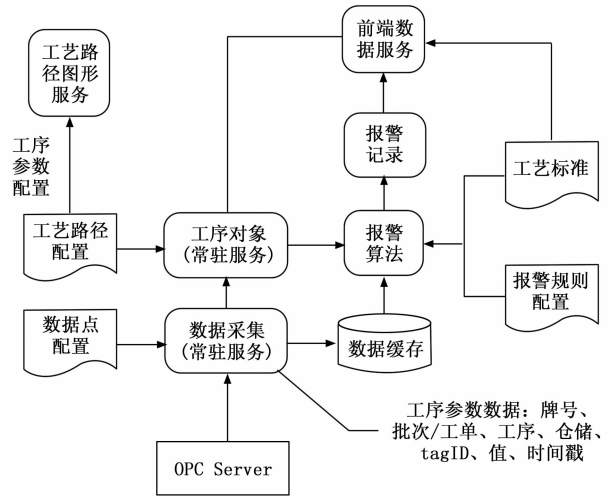


图 5 工艺质量监控预警流程图

2.1.4 服务网关层设计

服务网关是卷烟质量监控预警系统的入口，充当前端应用与后端微服务之间的中间层。通过服务网关，前端应用无需了解微服务的具体细节就可以与后端微服务进行通信。服务网关的主要职责包括路由转发和请求过滤。路由转发的主要任务是确保数据按照正确的路径传输，以便进行质量分析、实时监控和报告生成。将采集到的数据被封装成数据包，然后通过网络传输到卷烟工艺质量监控系统，根据预定义的路由规则来确定数据包的下一步流向，一旦数据包到达目标组件，系统对其进行处理、分析和存储，以支持质量监控和报告生成，处理后的数据传递给卷烟工艺质量监控系统的业务应用层。请求过滤主要对系统请求进行过滤，主要实现权限校验、业务接口监控、访问限流和日志收集等功能。

2.2 卷烟加工工艺质量预警模块设计

2.2.1 卷烟工艺质量预警流程

卷烟加工工艺质量预警基于“采集点—工序—车间—工厂”的层级结构，按生产加工先后顺序配置完整的工艺路线，以支持单个采集点配置。卷烟加工过程监控数据，以可视化、图形化的方式展示每个采集点实时采集的数据，结合报警算法实时分析数据，当模型预测工艺生产结果不符合工艺标准时，将生成一条预警记录，并将结果传输到前端通知相关人员或自动执行控制策略以解决问题，预警过程如图 5 所示。

2.2.2 基于改进 GRU 算法的工艺质量预警模型

卷烟工艺质量预警模型主要包括特征输入层、特征提取层、全连接层，结构如图 6 所示。

将温度、湿度、气流速度特征归一化后传入特征提取层，采用 GRU 提取特征时序依赖关系，具体在 GRU 单元的计算过程如下：

首先，计算更新门 z_t 和重置门 r_t ，其作用是控制 GRU 单元输入、遗忘和输出的比例：

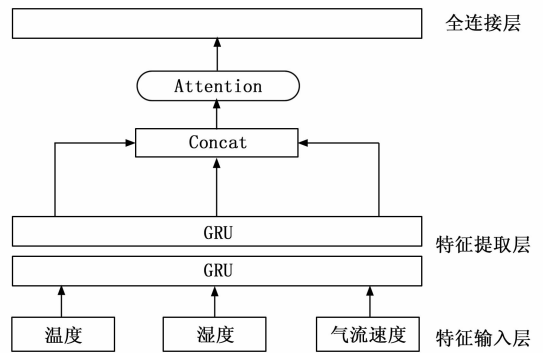


图 6 基于 GRU-Attention 的工艺质量预测模型

$$z_t = \sigma(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z) \quad (1)$$

$$r_t = \sigma(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r) \quad (2)$$

然后，计算候选值 \tilde{h}_t ，更好地捕捉当前时刻输入信息 x_t 和前一个时刻的状态 h_{t-1} ：

$$\tilde{h}_t = \tanh(W_h x_t + U_h (r_t \cdot h_{t-1}) + b_h) \quad (3)$$

在计算隐藏状态时，增加 drop 丢弃因子 p 防止过拟合， p 设置为 0.2 在第 t 步隐层的输出 h_t 公式变为：

$$h_t = (1 - z_t) \cdot h_{t-1} + dropout(\tilde{h}_t, p) \cdot z_t \quad (4)$$

其中： $\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ 即 Sigmoid 函数，将信息流控制在 $(0, 1)$ 之间； $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$ 即双曲正切函数； W_z 、 W_r 、 W_h 、 U_z 、 U_r 、 U_h 为门控参数矩阵， b_z 、 b_r 、 b_h 为偏置参数。

经过双层 GRU 得到特征提取后的向量 T 、 H 、 V ，将三者拼接得到多特征融合向量 R ，公式如下：

$$R = [T \oplus H \oplus V] = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_i\}$$

将融合向量 R 传入注意力模块计算注意力概率分布值 $c_1, c_2, c_3, \dots, c_i$ ，从而突出不同位置的特征重要性，提高模型的鲁棒性，注意力计算公式：

$$v = \sum r_i k_i \quad (5)$$

$$a_i = w_i \tanh(W_i k_i + b_i) \quad (6)$$

$$c_i = \frac{\exp(a_i)}{\sum_{j=1}^i a_j} \quad (7)$$

其中: a_i 表示 k_i 所决定的注意力概率分布值; w_i 和 W_i 表示权重系数矩阵; b_i 表示偏置参数。

最后, 将注意力模块的输出特征向量 v 传入全连接层, 得到当前时刻的某一批次卷烟工艺质量评分值。

3 实验结果与分析

3.1 卷烟工艺质量预警模型结果与分析

3.1.1 数据集描述与预处理

本文通过生产线各类传感器采集温度、湿度、气流速度特征, 利用 MQTT 通信协议接入数据采集微服务, 选取 600 条工艺样本, 数据采集频率为 15 分钟一次。样本内容如表 1 所示。

表 1 样本示例

时间戳	湿度/%RH	温度/°C	气流速度/(m/s)	质量得分
09:00	72	44.2	0.3	83
09:15	70	43.5	0.3	80
09:30	69	43.0	0.2	82
09:45	68	42.5	0.2	78
...

通过消息队列机制通知处理微服务, 对收到的数据进行归一化处理, 确保数据一致性。选用 MinMaxScaler 归一化法, 将数据收敛到 0~1 之间, 计算公式如下:

$$X^* = [X - \min(X)] / [\max(X) - \min(X)] \quad (8)$$

式中, X^* 为标准化后的特征矩阵, X 为特征矩阵, $\max(X)$ 、 $\min(X)$ 分别为特征矩阵的最大值、最小值。

本文选用随机采样的方式选取 70% 共 420 条为训练集, 余下 30% 共 180 条为测试集。

3.1.2 评价指标

本文采用决定系数、均方根误差、平均绝对均方根误差对卷烟工艺质量进行评估, 相关计算公式为:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y^*)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2} \quad (10)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \tilde{y}_i| \quad (11)$$

式中, y_i 为实际得分值, \tilde{y}_i 为预测样本得分值。

3.1.3 结果与分析

实验对比 GRU-Attention 模型与以往的工艺质量预测方法在预测精确性的表现, 包括 LR、SVM、GRU 方法, 以 MAE、RMSE、 R^2 为评价指标, 从表 2 中可以看出, 本文方法 R^2 为 0.937, 且与 LR、SVM、GRU 相比, MAE 和 RMSE 在卷烟工艺质量预测效果均优于其它基线模型。因

为模型采用注意力机制与 GRU 的柔性结合方式, 更能深层次有效地处理实时数据。

表 2 对比实验结果

Method	MAE	RMSE	R^2
LR	1.920	1.616	0.547
SVM	1.265	1.451	0.603
GRU	0.887	1.290	0.636
本文方法	0.381	0.570	0.937

通过本文预警模型可以得到实时工艺质量预测评分, 并设定预警标准, 质量评分在 0~39 为第一预警区, 40~59 为第二预警区, 60 分以上为质量稳定区, 实际样本工艺质量预测结果如表 3 所示。当质量预警发生时, 通知微服务模块发送 HTTP 请求, 将样本 52 和样本 73 的预警信息传递给工作人员。

表 3 实际样本工艺质量预测案例

样本序号	综合得分	预警区间
1	82.5	质量稳定区
...
52	52.0	第二预警区
...
73	56.4	第二预警区
...

3.2 卷烟工艺质量预警系统性能测试

本文卷烟工艺质量预警系统性能测试模拟不同负载条件下的系统响应时间、极端情况下的最大负载能力、异常处理能力以及系统的吞吐量, 旨在验证系统在各种条件下的响应能力、稳定性和可靠性。为了确保试验的真实性, 本文使用真实的卷烟加工过程数据集, 并在高负载和异常情况下模拟环境下进行大规模的并发请求测试。表 4 为单体架构与微服务架构的测试结果对比。

表 4 测试结果

指标	单体架构	微服务架构
平均请求时间/ms	763	268
99% 请求消耗时间	1.8 s	566 ms
请求消耗时间最大值/s	6.26	1473
异常率/%	4	0
吞吐量/(1/s)	598	1 857

测试结果表明, 在各项性能指标下, 基于微服务架构和 GRU 算法的卷烟质量预测系统明显优于传统的单体架构。微服务架构不仅在平均响应时间、99% 响应时间和最大响应时间方面表现出色, 而且在异常处理率和系统吞吐量方面也具备卓越的性能。系统在高负载和异常情况下保持稳定, 响应速度迅捷, 异常处理效率高, 整体性能出色。

3.3 系统应用效果

本系统的设计满足卷烟工艺质量预警的基本需求, 从

制叶段到加香段, 监控界面具备实时监控功能, 能够接收并显示来自各个传感器的实时数据。系统界面如图 7 所示。基于预设的质量标准, 系统会自动进行实时分析与比对, 一旦发现任何偏离标准的异常情况, 系统将立即触发预警机制。预警信息会以醒目的方式在监控界面上显示, 并且可以通过多种方式通知相关人员, 确保问题能够被及时处理。通过以上设计与功能, 卷烟质量预警监控界面不仅提供直观的实时监控, 还支持深度的数据分析和报告生成, 为用户提供强大的决策支持和操作便利性, 确保卷烟工艺质量的稳定性和高效性。

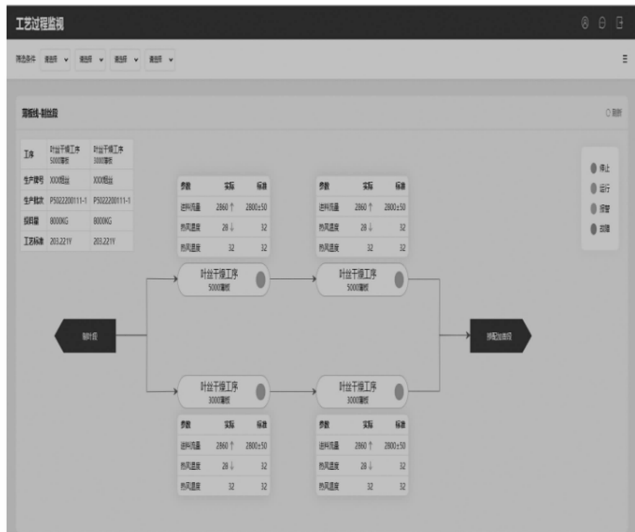


图 7 卷烟质量监控界面

通过该系统, 实现卷烟生产过程中的实时监控、质量预测以及异常预警, 为生产环境带来许多优势。该系统以评价模型运行所需的数据为基础, 综合中烟下属卷烟厂信息化实际情况, 完成对卷烟制造工艺过程质量数据的采集、加工、存储管理。根据质量预测模型设计开发了具体的模型指标和可视化页面应用, 以满足技术中心对工艺标准的管理和生产工艺过程质量的管控等相关需求。该系统能够实时监控卷烟生产过程中的关键参数数据, 包括温度、湿度、气流速度等, 结合 GRU 算法进行工艺质量预测, 系统在实时性和准确性之间取得了良好的平衡, 实现对时序数据的高效处理。在生产过程中, 一旦出现异常, 系统将立即通过预警机制通知相关人员, 以便问题的快速定位和解决。基于历史数据和时序模式, 该系统还能够预测未来一段时间内的质量状况, 使得生产计划和质量控制更具针对性和预见性。这种质量预测机制有助于使生产过程更加稳定, 从而提高生产效率。系统中的微服务架构提供了良好的数据分析和决策支持能力。企业可以利用系统提供的历史数据分析功能深入了解生产过程中的各种模式和趋势。这种数据驱动的方法有助于生产管理人员做出更明智的决策, 提高生产过程的智能化水平, 为生产企业创造实质性的价值。

4 结束语

本文结合微服务架构和深度学习算法设计了一套卷烟工艺质量监控预警系统, 建立了科学的工艺质量预警体系, 接收卷烟产品加工工艺质量预警, 避免了质量事故发生。系统平台采用微服务架构, 分布式独立部署微服务模块, 显著提高了系统高并发访问性能和系统的自动化程度。建立了基于注意力机制的 GRU 预警模型, 可以有效地处理加工过程中的时序数据, 对重要的信息赋予更高的权重, 提高模型预测的准确度。下一步工作将进一步优化系统的流畅性和效率, 并结合多模态数据对预测模型进行完善。

参考文献:

- [1] GU Y, ZHANG X, YANG H, et al. Design of fully intelligent quality error prevention system for tobacco production line based on configuration software and PLC program [J]. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2022 (1): 012038.
- [2] GANG S, WANG X M, WU J F, et al. Analysis of the information management system in the manufacturing process of cigarette enterprises using fuzzy AHP [J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2021, 40 (4): 8257-8267.
- [3] CEN Y, WANG H, ZHANG Z, et al. Design and implementation of cigarette product quality management information system based on ERP and PDM [C] //2013 IEEE 4th International Conference on Software Engineering and Service Science. IEEE, 2013: 170-174.
- [4] HANNOUSSE A, YAHIOUCHE S. Securing microservices and microservice architectures: a systematic mapping study [J]. Computer Science Review, 2021, 41 (8): 100415.
- [5] 陈 硕, 乔 林, 李 钊, 等. 基于微服务的电网云平台运维技术研究综述 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (4): 1-8.
- [6] ZHU S, CHEN Q, CHENG Y, et al. Design of petrochemical power distribution and substation digital delivery system based on microservice architecture [C] //2022 IEEE 6th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). IEEE, 2022: 291-296.
- [7] 李永成, 陈健飞, 成蓬蓬. 基于微服务架构的高校隐性教育资源云共享系统 [J]. 现代电子技术, 2021, 44 (20): 47-52.
- [8] 钟 宇, 董 浩, 邢 军, 等. 烟草行业质量数据利用现状及应用需求分析 [J]. 烟草科技, 2023, 56 (2): 104-112.
- [9] 张齐勋, 吴一凡, 杨 勇, 等. 微服务系统服务依赖发现技术综述 [J]. 软件学报, 2024, 35 (1): 118-135.
- [10] ALYAS T, ALI S, KHAN H U, et al. Container performance and vulnerability management for container security using docker engine [J]. Security and Communication Networks, 2022 (8): 6819002.
- [11] CARRIÒN C. Kubernetes scheduling: taxonomy, ongoing issues and challenges [J]. ACM Computing Surveys, 2022, 55 (7): 1-37.

(下转第 177 页)