

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 1 月 23 日 (23.01.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/015753 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 18/214 (2023.01) **G06F 18/10** (2023.01)
G06F 18/2433 (2023.01) **G06F 17/16** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/128312

(22) 国际申请日: 2023 年 10 月 31 日 (31.10.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310880343.0 2023年7月18日 (18.07.2023) CN

(71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路
886号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 刘之涛 (LIU, Zhitao); 中国浙江省杭州市
西湖区余杭塘路886号, Zhejiang 310058 (CN)。
张树信 (ZHANG, Shuxin); 中国浙江省杭州市西湖
区余杭塘路886号, Zhejiang 310058 (CN)。 苏
宏业 (SU, Hongye); 中国浙江省杭州市西湖区余
杭塘路886号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司
(HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.);
中国浙江省杭州市西湖区古墩路701号紫金广
场C座1506室, Zhejiang 310030 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,

(54) Title: MULTI-OBJECTIVE HOT ROLLING QUALITY DETECTION METHOD BASED ON PROGRESSIVE LAYERED EXTRACTION

(54) 发明名称: 一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法

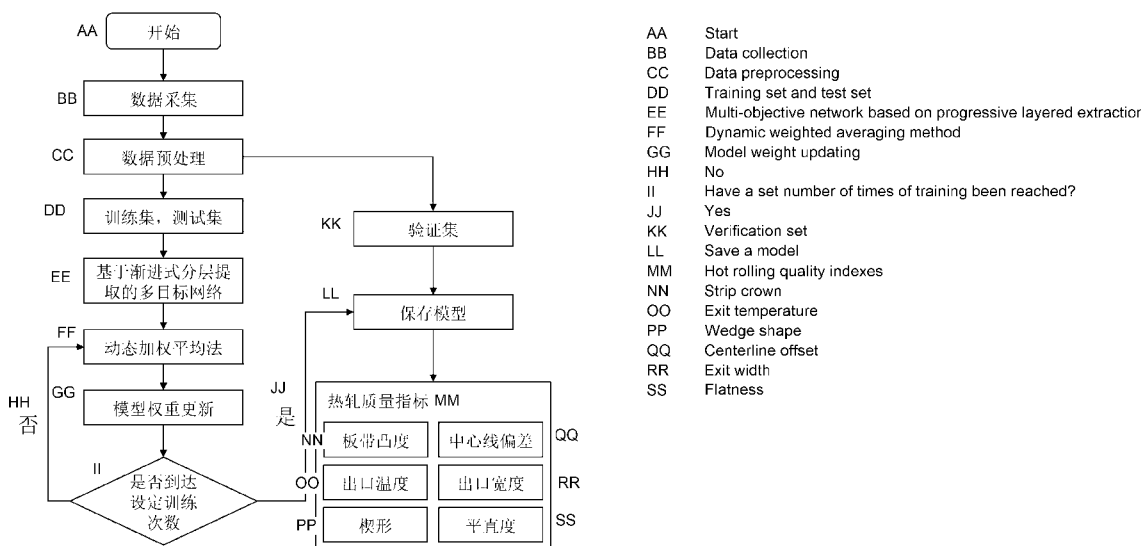


图 1

(57) Abstract: Disclosed in the present invention is a multi-objective hot rolling quality detection method based on progressive layered extraction. The present invention comprises the following steps: firstly, collecting hot rolling production process data, and determining a plurality of hot rolling quality detection parameters corresponding to the hot rolling production process data, so as to construct a hot rolling production data set; then performing data preprocessing on the hot rolling production data set to obtain a preprocessed data set; then training, on the basis of the preprocessed data set, a multi-objective network based on progressive layered extraction to obtain a multi-objective hot rolling quality detection model; and finally, inputting preprocessed hot rolling production data to be

IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,
PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,
HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

predicted into the multi-objective hot rolling quality detection model, outputting a multi-objective hot rolling quality detection result, and calculating predicted values of the plurality of hot rolling quality detection parameters on the basis of the multi-objective hot rolling quality detection result. According to the present invention, by performing weighted fusion on features of different quality detection parameters, regularization is achieved, thereby improving the accuracy and anti-interference performance of hot rolling quality detection.

(57) 摘要: 本发明公开了一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法。本发明包括以下步骤: 首先, 收集热轧生产过程数据, 确定热轧生产过程数据对应的多个热轧质量检测参数, 从而构建获得热轧生产数据集; 接着对热轧生产数据集进行数据预处理, 获得预处理后的数据集; 再根据预处理后的数据集, 对基于渐进式分层提取的多目标网络进行训练, 获得多目标热轧质量检测模型; 最后将待预测的预处理后的热轧生产数据输入到多目标热轧质量检测模型中, 输出获得多目标热轧质量检测结果, 基于多目标热轧质量检测结果计算获得多个热轧质量检测参数的预测值。本发明通过加权融合不同质量检测参数的特征, 实现了正则化, 提高了热轧质量检测的精确度和抗干扰性。

一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法

技术领域

本发明涉及热轧生产过程故障预测与诊断的一种产品质量检测参数测定方法，具体涉及了一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法。

背景技术

热轧由于能耗低，塑性加工良好，变形抗力低，加工硬化不明显，易进行轧制等特点被广泛应用于建筑、桥梁、船舶、车辆等一般结构件的制造，但是，由于热轧生产过程受到轧制力、轧制速度、辊缝值、弯辊力、温度等变量的影响，其具备多变量、强耦合、非线性和时变等特点，同时由于热轧产品的质量由多个参数同时决定，因此如何准确评估热轧在生产过程中的各项质量检测参数成为确保产品质量的重要保障和挑战。

目前对于热轧生产流程的评估和检测可以分别基于机理模型和数据模型两种方法，对于机理模型的方法，首先需要大量的先验知识来建立模型，其次这些方法都是将热轧生产化成简化和理想化，其鲁棒性和实用性有待检验。而对于数据驱动的方法，其并不需要大量的先验知识，同时，近几年来随着硬件的改善和数据量的增长，越来越多的研究者将目光投向数据驱动领域，而基于数据驱动的方法在很多场景都有了大量的应用并具有较高的泛化性和鲁棒性。

但是传统数据驱动方法在工业领域的应用受到了很大的限制，首先热轧生产过程的数据具备大量的噪声；其次，由于客户对于产品的需求比如生产规格和数量各不相同，热轧生产的数据具备很高的不平衡性，而传统的数据驱动方法在不平衡数据上的表现往往不尽人意；再次，据了解，目前应用在热轧生产过程故障预测和诊断领域的的数据驱动方法都是单目标预测模型，虽然在部分参数上其能取得不错的预测结果，但是在其他参数上其表现能力则往往会变差，同时，单目标模型还需要耗费额外的时间进行模型训练，同时也需要额外的存储空间和算力进行实时预测。

发明内容

有鉴于此，为了解决背景技术中存在的问题，本发明的目的是提出一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，让其能够在噪声干扰下的不平衡热轧生产数据集上实现多质量检测参数的同时预测，并且提高预测的精确度。

本发明的技术方案如下：

步骤 1：收集热轧生产过程数据，确定热轧生产过程数据对应的多个热轧质

量检测参数，从而构建获得热轧生产数据集；

步骤 2：对热轧生产数据集进行数据预处理，获得预处理后的数据集；

步骤 3：根据预处理后的数据集，对基于渐进式分层提取的多目标网络进行训练，获得多目标热轧质量检测模型；

步骤 4：将待预测的预处理后的热轧生产数据输入到多目标热轧质量检测模型中，输出获得多目标热轧质量检测结果，基于多目标热轧质量检测结果计算获得多个热轧质量检测参数的预测值。

所述步骤 1 中，热轧生产过程数据包括轧制力、轧制速度、弯辊力、辊缝值、窜辊量、轧入厚度和入口温度。

所述步骤 1 中，热轧质量检测参数包括凸度、中心线偏移量、出口温度、楔形、宽度和平直度。

所述步骤 2 具体为：

首先，根据 3-sigma 原则剔除热轧生产数据集中的离群值，获得剔除后的数据集；接着，对剔除后的数据集进行归一化处理，获得归一化后的数据集，最后，利用滑动窗口方法对归一化后的数据集中的数据进行处理后，获得预处理后的数据集。

所述基于渐进式分层提取的多目标网络由第一层渐进式分层提取网络、第二层渐进式分层提取网络和多目标输出网络组成；

第一层渐进式分层提取网络由 k 个第一私有网络、1 个第一共享网络和 $k+1$ 个第一门控网络构成；第二层渐进式分层提取网络由 k 个第二私有网络、1 个第二共享网络和 k 个第二门控网络构成；多目标输出网络由 k 个输出网络组成；

基于渐进式分层提取的多目标网络的输入均作为 k 个第一私有网络、1 个第一共享网络的输入， k 个第一门控网络分别与对应的第一私有网络相连， k 个第一门控网络还分别与第一共享网络相连，剩余的一个第一门控网络与 k 个第一私有网络和第一共享网络均相连，基于渐进式分层提取的多目标网络的输入均与 $k+1$ 个第一门控网络相连， $k+1$ 个第一门控网络的输出作为第一层渐进式分层提取网络的输出并分别与第二层渐进式分层提取网络的 k 个第二私有网络、1 个第二共享网络相连；

k 个第二私有网络分别与对应的第二门控网络相连，第二共享网络均与 k 个第二门控网络相连， k 个第一门控网络的输出还分别与对应的第二门控网络相连， k 个第二门控网络分别与 k 个输出网络相连。

所述 k 个第一私有网络和 1 个第一共享网络的结构相同，均由卷积神经网络、门控循环网络和长短期记忆网络并行构成，其中，卷积神经网络由 2 层一

维卷积层、1 层一维最大池化层和 1 层全连接层依次相连构成，门控循环网络由 1 层门控循环单元和 1 层全连接层依次相连构成，长短期记忆网络由 1 层长短期记忆单元和 1 层全连接层依次相连构成；

所述 k 个第二私有网络和 1 个第二共享网络的结构相同，均由 3 个全连接层网络并行构成。

所述 $k+1$ 个第一门控网络的结构相同，均由 1 层门控循环单元和 1 层全连接层依次相连构成；所述 k 个第二门控网络的结构相同，均由 2 层全连接层依次相连构成。

所述基于渐进式分层提取的多目标网络在训练时的单目标损失函数为均方误差，每个单目标损失函数的初始权重为 1，根据动态加权平均法则进行训练。

所述步骤 4 中，待预测的预处理后的热轧生产数据是对采集的待预测热轧生产数据进行步骤 2 中的预处理后获得的。

所述步骤 4 中，对多目标热轧质量检测结果进行反归一化后，获得多个热轧质量检测参数的预测值。

本发明的有益效果为：

1. 本发明提出了一种多目标的热轧产品质量检测参数的预测方法，通过渐进式分层提取的方法，可以融合不同质量检测参数之间的特征，进行模型正则化，提高模型预测精确度。

2. 本发明与单目标数据驱动模型相比，本发明使用更少的训练数据就可以得到相对满意的预测结果，能够克服热轧生产过程中可能存在的对于单一类型的热轧样本数据不充足的情况。

3. 本发明能够同时预测多个质量检测参数，占用更少的空间并用更短的预测时间就能得到更精确的预测结果。

附图说明

图 1 为本发明的方法流程图。

图 2 为本发明的网络结构图。

图 3 为本发明实验结果图。

具体实施方式

下面结合附图以及具体实施例对本发明作进一步的说明，但本发明的保护范围并不限于此。

如图 1 所示，本发明的实施例如下：

步骤 1：收集热轧生产过程数据，确定热轧生产过程数据对应的多个热轧质量检测参数，从而构建获得热轧生产数据集；数据集 $\mathcal{D}$ 可以表示为：

$\mathcal{D} = [x_1, x_2, \dots, x_n | y_1, y_2, \dots, y_k]$, 其中, x_n 表示第 n 个热轧生产过程中操作变量的时间序列, y_k 表示第 k 个质量检测参数的时间序列, k 为质量检测参数的数量;

其中, 热轧生产过程数据包括轧制力、轧制速度、弯辊力、辊缝值、窜辊量、轧入厚度和入口温度。热轧质量检测参数包括凸度、中心线偏移量、出口温度、楔形、宽度和平直度。

步骤 2: 对热轧生产数据集进行数据预处理, 获得预处理后的数据集;

步骤 2 具体为:

首先, 根据 3-sigma 原则剔除热轧生产数据集中的离群值, 具体是挑选满足 $[\mu - 3 \times \sigma, \mu + 3 \times \sigma]$ 的数据, 其中 μ 为单个操作变量/参数的平均值, σ 为单个操作变量/参数的标准差, 获得剔除后的数据集; 接着, 对剔除后的数据集进行归一化处理, 获得归一化后的数据集, 最后, 利用滑动窗口方法对归一化后的数据集中的数据进行处理后, 获得预处理后的数据集, 预处理后的数据集由多个输入矩阵组成。

其中, 归一化公式为:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

其中, x 为原始数据, x_{max} 、 x_{min} 分别为原始数据中的最大值和最小值, x_{norm} 为归一化处理后的数据;

步骤 3: 根据预处理后的数据集, 对基于渐进式分层提取的多目标网络进行训练, 获得多目标热轧质量检测模型;

如图 2 所示, 基于渐进式分层提取的多目标网络由第一层渐进式分层提取网络、第二层渐进式分层提取网络和多目标输出网络组成; 第一层渐进式分层提取网络由 k 个第一私有网络、1 个第一共享网络和 $k+1$ 个第一门控网络构成, k 为热轧质量检测参数的数量; 第二层渐进式分层提取网络由 k 个第二私有网络、1 个第二共享网络和 k 个第二门控网络构成; 多目标输出网络由 k 个输出网络组成;

基于渐进式分层提取的多目标网络的输入均作为 k 个第一私有网络、1 个第一共享网络的输入, k 个第一门控网络分别与对应的第一私有网络相连, 即一个第一门控网络与对应的一个第一私有网络一一相连, k 个第一门控网络还分别与第一共享网络相连, 剩余的一个第一门控网络(即第 $k+1$ 个第一门控网络)与 k 个第一私有网络和第一共享网络均相连, 基于渐进式分层提取的多目标网络的输入均与 $k+1$ 个第一门控网络相连, $k+1$ 个第一门控网络的输出作为第一层渐进式

分层提取网络的输出并分别与第二层渐进式分层提取网络的 k 个第二私有网络、1 个第二共享网络相连；

k 个第二私有网络分别与对应的第二门控网络相连，即一个第二私有网络与对应的一个第二门控网络一一相连，第二共享网络均与 k 个第二门控网络相连， k 个第一门控网络的输出还分别与对应的第二门控网络相连， k 个第二门控网络分别与 k 个输出网络相连，每个输出网络由 2 层全连接层依次相连构成，第 k 个任务输出 y_k 为： $y_k = t_k(r_k(x))$ 。

k 个第一私有网络和 1 个第一共享网络的结构相同，均由卷积神经网络 $E_{(k,1)}^T$ ，门控循环网络 $E_{(k,2)}^T$ 和长短期记忆网络 $E_{(k,3)}^T$ 并行构成，并行指输入矩阵同时分别输入 3 个子网络，其中，卷积神经网络由 2 层一维卷积层、1 层一维最大池化层和 1 层全连接层依次相连构成，门控循环网络由 1 层门控循环单元和 1 层全连接层依次相连构成，长短期记忆网络由 1 层长短期记忆单元和 1 层全连接层依次相连构成。 $k+1$ 个第一门控网络 g 的结构相同，均由 1 层门控循环单元和 1 层全连接层依次相连构成。

k 个第二私有网络和 1 个第二共享网络的结构相同，均由 3 个全连接层网络并行构成。 k 个第二门控网络的结构相同，均由 2 层全连接层依次相连构成。

其中，第一层渐进式分层提取网络的过程可以表示为：

$$S_k = [E_{(k,1)}^T, E_{(k,2)}^T, E_{(k,3)}^T, E_{(s,1)}^T, E_{(s,2)}^T, E_{(s,3)}^T]^T$$

$$a(g(x_i)) = \frac{\exp(g(x_i))}{\sum_{i=0}^n \exp(g(x_i))}$$

$$r_k = \sum_{i=0}^n a(g(x_i)) S_k(x_i)$$

其中， r_k 为第 k 个任务在第一层渐进式分层提取网络的输出。

步骤 4 中，将输入矩阵划分成训练集，测试集和验证集，划分比例为 20% 训练集，5% 测试集和 75% 验证集。构建基于渐进式分层提取的多目标网络的损失函数 $\mathcal{L}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k, \theta_s)$ ，其为单目标损失函数 $\mathcal{L}_k$ 与对应权重 λ_k 之积的总和，可以表示为：

$$\mathcal{L}(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k, \theta_s) = \sum_{k=0}^K \lambda_k(t) \mathcal{L}_k(\hat{y}_k(\theta_k, \theta_s), y_k)$$

其中，单目标损失函数 θ_k 为均方误差， $\lambda_k(t)$ 表示第 t 次训练时，第 k 个任务的权重， θ_s 表示共享网络的参数， y_k 表示第 k 个质量检测参数的观测值； $\hat{y}_k$ 表

示第 k 个质量检测参数的预测值；每一个单目标损失函数的初始权重为 1，根据动态加权平均法则进行训练，权重更新法则为：

$$\lambda_k(t) = \frac{K \exp(\omega_k(t-1)/T)}{\sum_{i=0}^K \exp(\omega_i(t-1)/T)}$$
$$\omega_k(t-1) = \frac{\mathcal{L}_k(t-1)}{\mathcal{L}_k(t-2)}$$

其中， $\omega_k(t)$ 为上一轮和上上轮的损失比， $\omega_i(t)$ 表示第 i 个任务在上一轮和上上轮的损失比， T 为平滑系数，满足 $\sum_{k=0}^K \lambda_k = K$ ，其通过计算每一轮损失下降速度，对容易下降的任务赋予更高的权重，从而实现整体权重的最小化。

步骤 5：将待预测的预处理后的热轧生产数据输入到多目标热轧质量检测模型中，输出获得多目标热轧质量检测结果，基于多目标热轧质量检测结果计算获得多个热轧质量检测参数的预测值，具体是对多目标热轧质量检测结果进行反归一化(即 $x_{min} + (x_{max} - x_{min}) \times \hat{y}_k$)后，获得多个热轧质量检测参数的预测值。

其中，待预测的预处理后的热轧生产数据是对采集的待预测热轧生产数据进行步骤 2 中的预处理后获得的。

仿真实验中，收集热轧制造现场数据，包括 59 个操作变量，6 个质量检测参数，包括凸度、中心线偏移量、出口温度、楔形、宽度和平直度，每组有 60000 个数据，每组使用 12000 个数据进行训练，45000 个数据进行验证，采用均方根误差(RMSE)和平均绝对误差(MAE)作为预测性能，其中卷积神经网络(CNN)，长短期记忆网络(LSTM)，门控循环网络(GRU)，深度神经网络(DNN)作为对比算法，预测结果如表 1 所示。

表 1 为本发明与现有方法之间的预测结果对比表

	PLE-MTL		CNN		LSTM		GRU		DNN	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
热轧凸度	0.174	0.922	0.382	1.224	0.286	1.184	0.299	1.230	0.499	1.630
中心线偏移量	0.571	1.250	1.189	1.579	0.829	1.237	0.589	1.309	0.864	1.641
出口温度	1.913	2.479	2.969	3.589	2.595	3.089	2.859	3.503	3.736	4.951
楔形	0.352	1.116	1.439	1.801	1.864	1.713	1.952	1.977	4.523	1.843
宽度	7.024	23.358	9.878	27.873	8.258	24.031	7.930	24.690	7.457	24.176
平直度	2.422	18.087	2.936	18.851	2.956	19.121	2.843	18.698	3.098	20.198

从表中可以看到，本发明提出的 PLE-MTL 在 6 个质量检测参数上都取得了很好的预测结果，图 3 分别为 6 个质量检测参数预测误差的频率直方图，大部分误差都集中在 0 附近，因此证明提出的方法在热轧生产过程产品质量预测上有更高的表现。

上述实施例用来解释说明本发明，而不是对本发明进行限制，在本发明的精神和权利要求的保护范围内，对本发明做出的任何修改和改变，都落入本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1、一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 1：收集热轧生产过程数据，确定热轧生产过程数据对应的多个热轧质量检测参数，从而构建获得热轧生产数据集；

步骤 2：对热轧生产数据集进行数据预处理，获得预处理后的数据集；

步骤 3：根据预处理后的数据集，对基于渐进式分层提取的多目标网络进行训练，获得多目标热轧质量检测模型；

步骤 4：将待预测的预处理后的热轧生产数据输入到多目标热轧质量检测模型中，输出获得多目标热轧质量检测结果，基于多目标热轧质量检测结果计算获得多个热轧质量检测参数的预测值。

2、根据权利要求 1 所述的一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，所述步骤 1 中，热轧生产过程数据包括轧制力、轧制速度、弯辊力、辊缝值、窜辊量、轧入厚度和入口温度。

3、根据权利要求 1 所述的一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，所述步骤 1 中，热轧质量检测参数包括凸度、中心线偏移量、出口温度、楔形、宽度和平直度。

4、根据权利要求 1 所述的一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，所述步骤 2 具体为：

首先，根据 3-sigma 原则剔除热轧生产数据集中的离群值，获得剔除后的数据集；接着，对剔除后的数据集进行归一化处理，获得归一化后的数据集，最后，利用滑动窗口方法对归一化后的数据集中的数据进行处理后，获得预处理后的数据集。

5、根据权利要求 1 所述的一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，所述基于渐进式分层提取的多目标网络由第一层渐进式分层提取网络、第二层渐进式分层提取网络和多目标输出网络组成；

第一层渐进式分层提取网络由 k 个第一私有网络、1 个第一共享网络和 $k+1$ 个第一门控网络构成；第二层渐进式分层提取网络由 k 个第二私有网络、1 个第二共享网络和 k 个第二门控网络构成；多目标输出网络由 k 个输出网络组成；

基于渐进式分层提取的多目标网络的输入均作为 k 个第一私有网络、1 个第一共享网络的输入， k 个第一门控网络分别与对应的第一私有网络相连， k 个第一门控网络还分别与第一共享网络相连，剩余的一个第一门控网络与 k 个第一

私有网络和第一共享网络均相连，基于渐进式分层提取的多目标网络的输入均与 $k+1$ 个第一门控网络相连， $k+1$ 个第一门控网络的输出作为第一层渐进式分层提取网络的输出并分别与第二层渐进式分层提取网络的 k 个第二私有网络、1 个第二共享网络相连；

k 个第二私有网络分别与对应的第二门控网络相连，第二共享网络均与 k 个第二门控网络相连， k 个第一门控网络的输出还分别与对应的第二门控网络相连， k 个第二门控网络分别与 k 个输出网络相连。

6、根据权利要求 5 所述的一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，所述 k 个第一私有网络和 1 个第一共享网络的结构相同，均由卷积神经网络、门控循环网络和长短期记忆网络并行构成，其中，卷积神经网络由 2 层一维卷积层、1 层一维最大池化层和 1 层全连接层依次相连构成，门控循环网络由 1 层门控循环单元和 1 层全连接层依次相连构成，长短期记忆网络由 1 层长短期记忆单元和 1 层全连接层依次相连构成；

所述 k 个第二私有网络和 1 个第二共享网络的结构相同，均由 3 个全连接层网络并行构成。

7、根据权利要求 5 所述的一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，所述 $k+1$ 个第一门控网络的结构相同，均由 1 层门控循环单元和 1 层全连接层依次相连构成；所述 k 个第二门控网络的结构相同，均由 2 层全连接层依次相连构成。

8、根据权利要求 1 所述的一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，所述基于渐进式分层提取的多目标网络在训练时的单目标损失函数为均方误差，每个单目标损失函数的初始权重为 1，根据动态加权平均法则进行训练。

9、根据权利要求 1 所述的一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，所述步骤 4 中，待预测的预处理后的热轧生产数据是对采集的待预测热轧生产数据进行步骤 2 中的预处理后获得的。

10、根据权利要求 1 所述的一种基于渐进式分层提取的多目标热轧质量检测方法，其特征在于，所述步骤 4 中，对多目标热轧质量检测结果进行反归一化后，获得多个热轧质量检测参数的预测值。

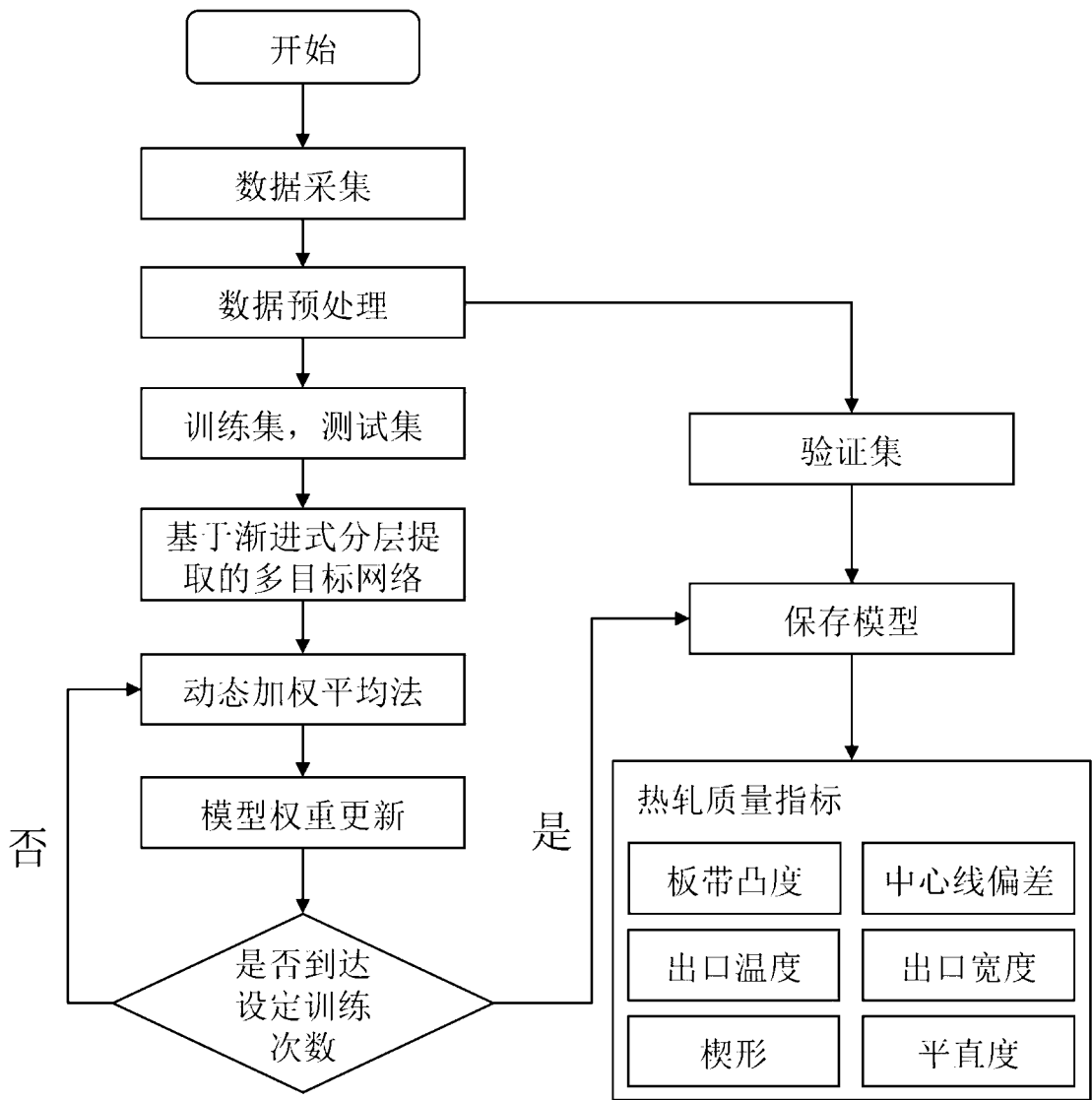


图 1

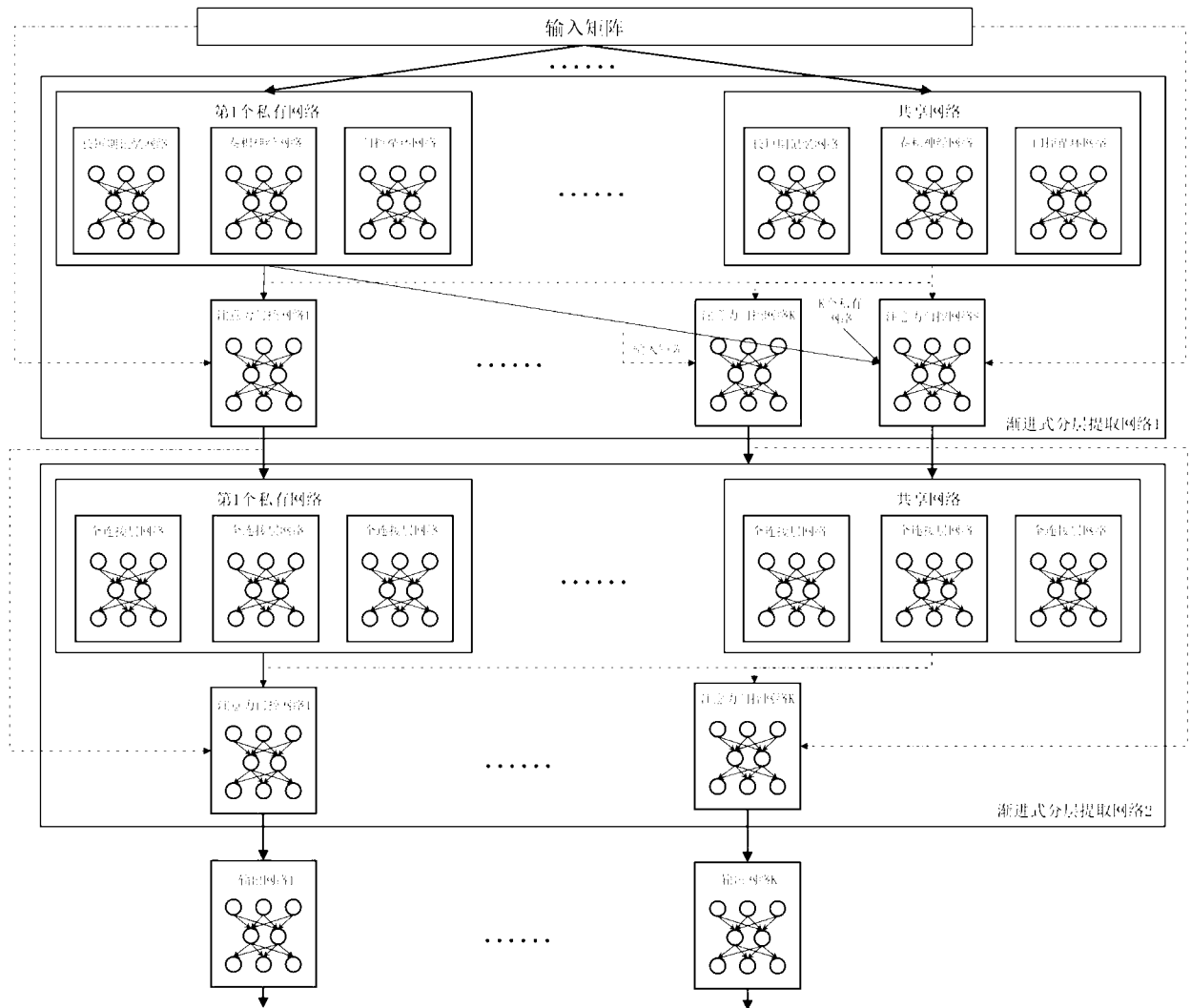


图 2

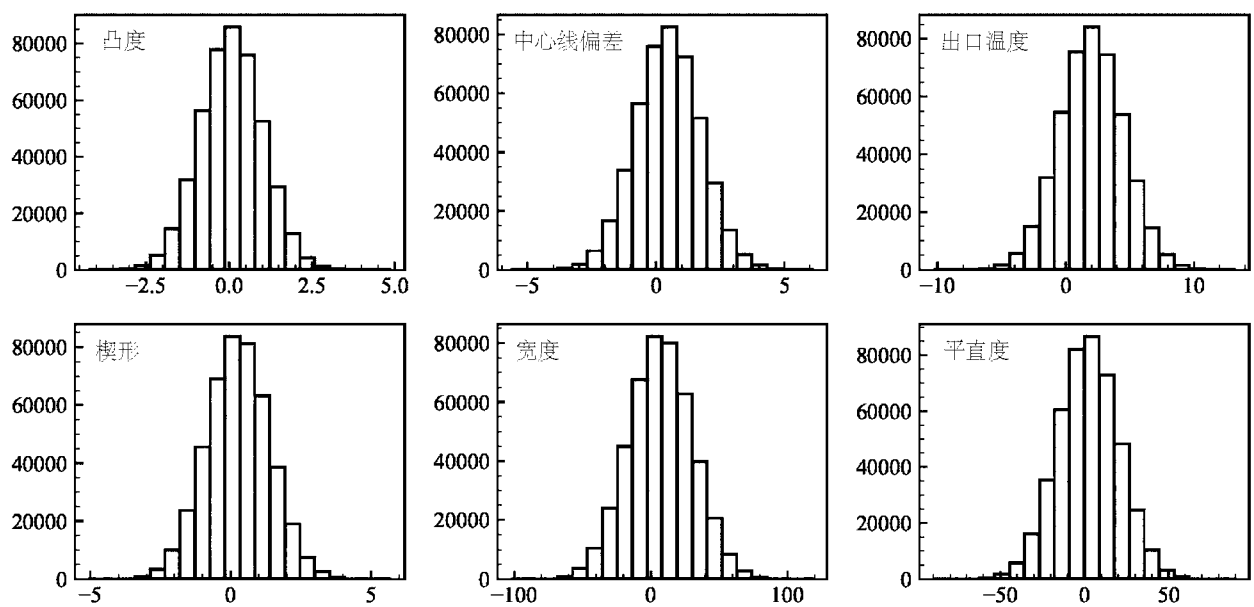


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/128312

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 18/214 (2023.01)i; G06F 18/2433(2023.01)i; G06F 18/10(2023.01)i; G06F 17/16 (2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 热轧, 生产, 质量, 检测, 参数, 预测, 模型, 渐进式分层提取, 多任务学习, Hot Rolling, Production, Quality, Inspection, Parameters, Prediction, Modeling, Progressive Hierarchical Extraction, Multi-Task Learning

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	张大海 等 (ZHANG, Dahai et al.). "基于耦合关系挖掘及渐进式分层提取多任务学习网络的风-光-荷短期预测 (Wind-photovoltaic-load Short-term Forecast Based on Coupling Relation Mining and Progressive Layered Extraction of Multi-task Learning network)" 电网技术 (Power System Technology), 01 September 2022 (2022-09-01), pages 3538-3542	1-10
Y	CN 110428175 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY AT QINHUANGDAO) 08 November 2019 (2019-11-08) description, paragraphs [0063]-[0066]	1-10
A	CN 112001527 A (CHINA JILIANG UNIVERSITY) 27 November 2020 (2020-11-27) entire document	1-10
A	US 2023004781 A1 (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 05 January 2023 (2023-01-05) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 March 2024

Date of mailing of the international search report

21 March 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/128312

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110428175	A	08 November 2019	None			
CN	112001527	A	27 November 2020	None			
US	2023004781	A1	05 January 2023	WO	2022116571	A1	09 June 2022
				CN	112439794	A	05 March 2021

A. 主题的分类

G06F 18/214 (2023.01)i; G06F 18/2433(2023.01)i; G06F 18/10(2023.01)i; G06F 17/16 (2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G06F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

VEN, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE; 热轧, 生产, 质量, 检测, 参数, 预测, 模型, 渐进式分层提取, 多任务学习, Hot Rolling, Production, Quality, Inspection, Parameters, Prediction, Modeling, Progressive Hierarchical Extraction, Multi-Task Learning

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	张大海 等. "基于耦合关系挖掘及渐进式分层提取多任务学习网络的风-光-荷短期预测" 电网技术, 2022年9月1日 (2022 - 09 - 01), 第3538-3542页	1-10
Y	CN 110428175 A (东北大学秦皇岛分校) 2019年11月8日 (2019 - 11 - 08) 说明书第[0063]-[0066]段	1-10
A	CN 112001527 A (中国计量大学) 2020年11月27日 (2020 - 11 - 27) 全文	1-10
A	US 2023004781 A1 (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 2023年1月5日 (2023 - 01 - 05) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"D" 申请人在国际申请中引证的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年3月18日

国际检索报告邮寄日期

2024年3月21日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

解欣

电话号码 (+86) 010-53961366

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/128312

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	110428175	A	2019年11月8日	无	
CN	112001527	A	2020年11月27日	无	
US	2023004781	A1	2023年1月5日	WO	2022116571 A1 2022年6月9日
				CN	112439794 A 2021年3月5日