

文章编号: 1004-0609(1999)04-0873-05

热轧带钢厚差诊断专家系统的 数据采集与处理系统^①

王 彤¹ 刘相华¹ 王国栋¹ 邹天来² 李洪斌² 武玉新² 张 弓²

(1. 东北大学 轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 沈阳 110006; 2. 本溪钢铁集团公司 热连轧厂, 本溪 117021)

摘 要: 热轧带钢厚差诊断专家系统是基于传感器型的在线实时专家系统, 数据采集与处理系统是该专家系统的重要组成部分。精轧机组信号由传感器采集后, 需进行预处理。数据预处理包括三次预处理, 一次预处理包括速度折算、温度趋势项消除, 使影响厚差的各因素变量周期和幅值不经常改变; 二次预处理包括低通滤波和高通滤波; 三次预处理是对低通滤波和高通滤波后的信号分别进行频谱分析, 得到特征参数并进行模糊处理。处理后的数据便可以用于厚差诊断专家系统的推理, 以提高厚差专家系统的命中率。

关键词: 热轧带钢; 数据处理; 厚差诊断; 专家系统

中图分类号: TG335.5 TP274

文献标识码: A

热连轧生产过程是一个高速自动化的过程, 控制模型复杂, 控制参数和影响厚度超差因素繁多, 无法直接诊断出造成厚差的原因, 因此用人工诊断厚差产生的原因十分困难, 更谈不上把厚差控制到要求的范围^[1, 2]。近年来, 人工智能发展迅速, 其中的专家系统代替人脑进行厚差诊断将是今后发展的主要方向^[3~6]。

本文介绍的数据采集与处理系统是开发热轧带钢厂实时厚差诊断专家系统(Thickness Deviation Diagnosis Expert System, 简称 TDD-ES)的基础。数据采集是通过精轧机组生产线上安装的大量传感器实时采集各种工艺参数。数据处理过程如下: 首先, 从精轧机出口厚差信号入手, 通过第七架轧机轧辊速度信号进行速度折算即按等时间采集信号转换成等速度(或等距离)采样, 解决了由于轧制速度时刻改变带来的周期经常变换的问题; 其次, 进行温度折算, 消除温度降低对周期信号的幅值影

响。为了对厚差信号的高频部分、低频部分进行分析, 根据专家的经验, 找出周期性影响厚度的参数, 确定其频率范围, 分别设计了低通滤波器和高通滤波器^[7, 8]。信号分别经低通滤波、高通滤波后进行频谱分析, 提取出带钢厚差信号的频率、幅值、均值、标准方差、温度趋势项等特征参数。接着, 再辅助分析各个机架的轧制力信号、温度信号等。最后根据专家的经验, 对这些特征参数进行模糊处理, 传输到厚差诊断专家系统, 进行推理。运用本专家系统诊断了多块带钢, 结果表明, 本专家系统能够较好地诊断出水印、温度、轧辊偏心、监控、设定模型等对厚差的影响, 同时证明了本数据采集与处理系统的实用性、重要性。

1 厚差诊断专家系统的数据采集

热连轧厂生产线上安装了大量的传感器、

① 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 97014515 和辽宁省企业技术创新示范工程资助项目 96213051

收稿日期: 1998-12-28; 修回日期: 1999-08-11

王 彤(1968-), 男, 博士研究生

检测器和仪表,通过这些装置可以实时对各种数据进行采样,所得数据信息反映了从钢坯加热到钢卷过秤整个生产过程的情况。本研究从某热连轧厂精轧机组入手,开发了高密度、多通道数据采集系统(Data acquisition system of high density, multichannel for tandem rolling, 简称 HM-TR 系统)。图 1 为该系统的示意图, HM-TR 系统具有如下特点:

(1) 高密度: 采样间距为 $5\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$;

(2) 多通道: 共 128 个通道, 下位机(基础自动化)和上位机(过程控制)各 64 通道,可以同时实时采集 128 个参量。

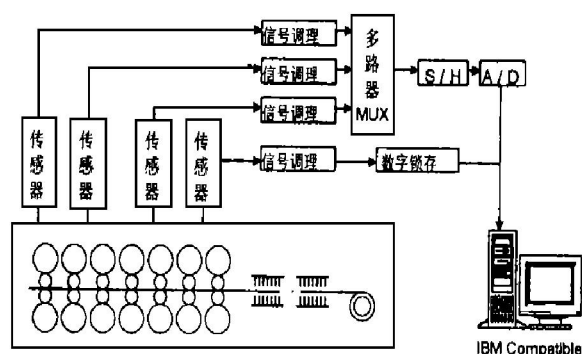


图 1 HM-TR 数据采集系统的示意图

Fig. 1 Schematic plan of HM-TR data acquisition system

(3) 主机配置: 奔腾 586, 32 M 内存, 硬盘 2.1 G, 至少能够储存 1000 块带钢的数据采集量。

本系统中 PC 机担任主控制的作用, 由它控制数据采集。主要采集精轧机组各架轧制力、辊缝、速度、电流、活套角度、第一机架后温度、第七机架后温度、出口厚差和宽差等实测值。

由图 1 可见, 热轧带钢生产过程中的检测信号由传感器经信号调理送至多路转换开关(MUX), 再将信号放大并作采样/保持(S/H)和 A/D 转换, 经光电隔离和缓存器输入计算机^[9, 10]。采集的数据经各种处理后, 提取出特征值, 用于专家系统的推理, 由此可见, 厚差诊断专家系统是一个基于传感器的诊断型专家系统。

2 厚差诊断专家系统的数据预处理

通过传感器采集来的原始数据需进行预处理, 才能供推理机使用, 数据预处理包括三次预处理。

2.1 一次预处理

由于轧制过程中, 轧制速度是变化的, 而采集系统的采样间隔时间是相等的, 这样, 每两个采样点对应的带钢长度是不等的, 而我们在厚差诊断过程中, 希望揭示的是带钢长度方向上信号的变化规律, 因此, 首先要通过速度折算, 将采样点变为等距的; 之后进行温度趋势项提取, 消除温度降低对周期信号幅值的影响。

(1) 速度折算

速度折算采用线性内插法, 图 2 是原始厚差信号曲线经速度折算前后的比较。折算后波形只是发生了位移, 在幅值上几乎保持不变。

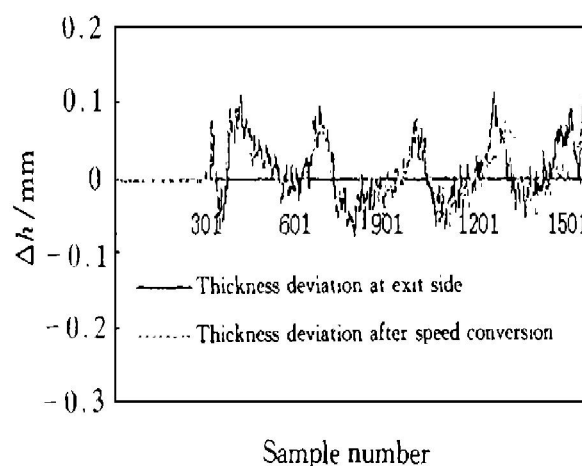


图 2 厚差信号曲线的速度折算前后比较图

Fig. 2 Comparing between thickness deviation curve and one converted according to speed

(2) 温度趋势项消除

有些时候, 厚差曲线有整体上翘的趋势, 这种现象的出现是由于轧制温度随轧制时间的延长而逐渐下降, 引起带钢厚度越来越大, 这种成分就称作趋势项。趋势项的存在会严重影响周期性因素的分析精度, 尤其是低频段的分

析精度, 因此必须先提取出来。提取的趋势项可用来判断是否终轧温度过低, 引起厚差增大。在趋势项提取中, 采用最小二乘提取法。

一个给定序列 $\{x_n\}$ ($n = 1, 2, \dots, N$) 的趋势项为:

$$\hat{x}_n = b_0 + n \Delta t b_1 \quad (1)$$

$$b_0 = \frac{2(2N+1) \sum_{n=1}^N x_n - 6 \sum_{n=1}^N n x_n}{N(N-1)} \quad (2)$$

$$b_1 = \frac{12 \sum_{n=1}^N n x_n - 6(N+1) \sum_{n=1}^N x_n}{\Delta t N(N-1)(N+1)} \quad (3)$$

式中 Δt 为采样间隔时间, b_0 和 b_1 为利用最小二乘法估计的参数。

提取趋势项后的波形序列 $\{x'_n\}$ 为:

$$x'_n(t) = x_n(t) - \hat{x}_n(t) \quad (4)$$

2.2 二次预处理

经过一次预处理后的厚差数据曲线中, 即有缓慢变化的低频部分又有高频振荡部分。为此, 设计了低通滤波器和高通滤波器, 分别研究厚差曲线的低频部分和高频部分。

(1) 低通滤波器的设计

本文采用双线性变换法设计一个低通巴特沃思数字滤波器, 使其特性逼近一个低通型巴特沃思模拟滤波器的下列技术指标: ① 通带截频 $\omega_c = 2\pi \times 0.2 \text{ rad/s}$; ② 在 ω_c 处衰减 $\delta_c = 3 \text{ dB}$; ③ 阻带始点频率 $\omega_z = 2\pi \times 0.4 \text{ rad/s}$; ④ 在 ω_z 处衰减 $\delta_z \geq +15 \text{ dB}$, 其中采样频率 $f_s = 20 \text{ Hz}$, 采样周期 $T = 1/f_s = 0.05 \text{ s}$ 。由此得到满足此条件的数字滤波器的传递函数 $H(z)$:

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2} - b_3 z^{-3}} \quad (5)$$

式中 $a_0 = 2.91183 \times 10^{-5}$, $a_1 = 8.7355 \times 10^{-5}$, $a_2 = 8.7355 \times 10^{-5}$, $a_3 = 2.91183 \times 10^{-5}$, $b_1 = 2.874399$, $b_2 = -2.75656$, $b_3 = 0.88193$ 。由此函数可得三阶低通滤波器的差分方程为:

$$y(n) = [x(n) + 3x(n-1) + 3x(n-2) + x(n-3) +$$

$$98714.4y(n-1) - 94667.52 \cdot y(n-2) + 30287.8y(n-3)] / 34342.62 \quad (6)$$

式中 $x(n)$, $y(n)$ 为滤波器的输入输出数据序列。

根据该差分方程即可画出它的结构图, 见图3。低通滤波前的厚差曲线见图4, 低通滤波效果如图5所示。

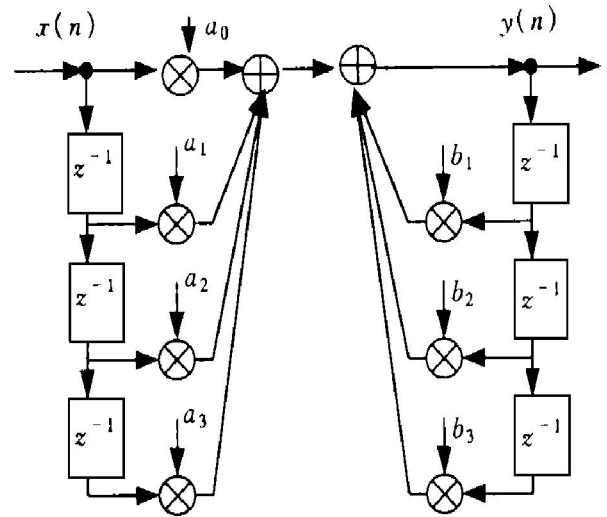


图3 数字滤波器的结构图

Fig. 3 Structure chart of digital filter

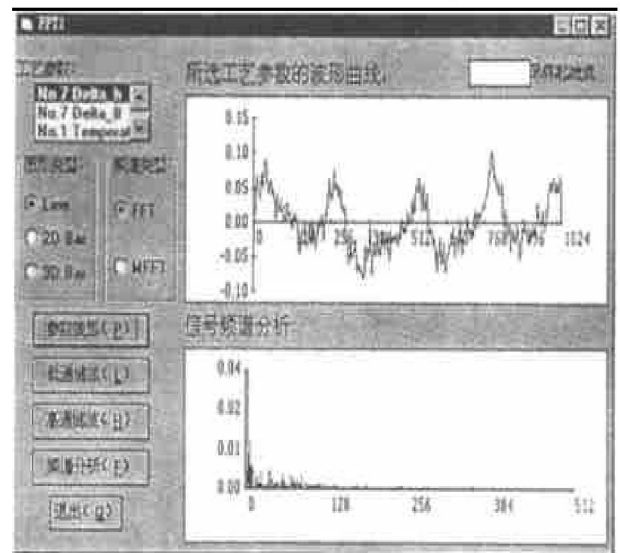


图4 滤波前的厚差曲线

Fig. 4 Thickness deviation curve before filtering

(2) 高通滤波器的设计

根据热轧带钢工艺条件, 确定高通滤波器的技术指标: 其通带截止频率 $f_c > 0.2 \text{ Hz}$, 采样周期 $T = 0.05 \text{ s}$, 设计一个二阶高通数字滤波器。

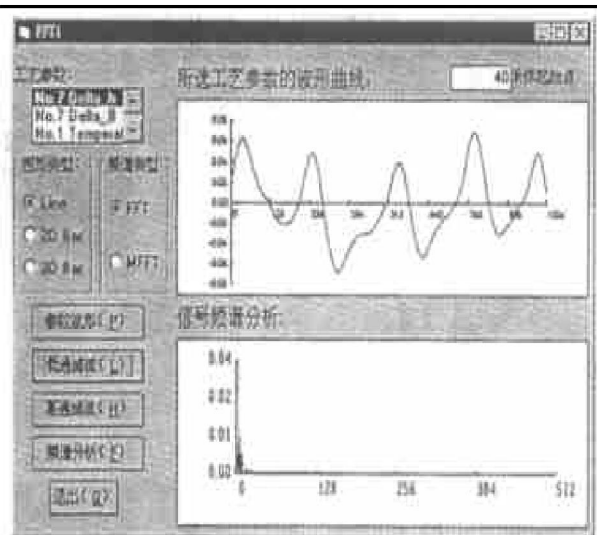


图5 厚差曲线的低通滤波

Fig. 5 Low-pass filter of thickness deviation curve

得到的高通滤波器差分方程为:

$$y(n) = \{1013.2[x(n) - 2x(n-1) + x(n-2)] + 2024.4y(n-1) - 969.2y(n-2)\} / 1059.2 \quad (7)$$

高通滤波效果如图6所示。

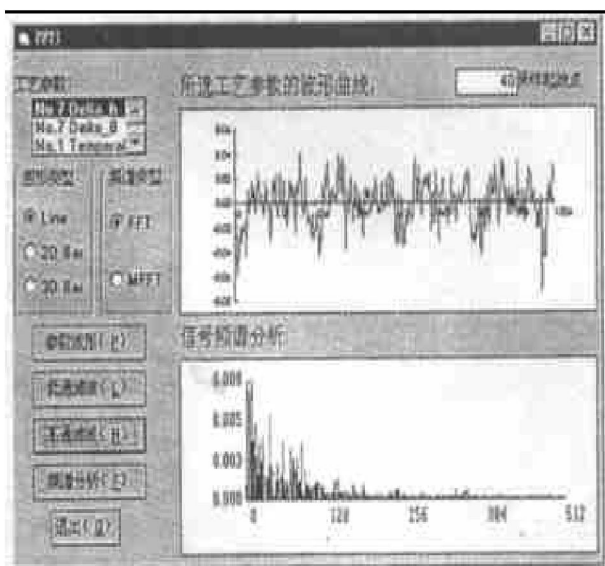


图6 厚差曲线的高通滤波

Fig. 6 High-pass filter of thickness deviation curve

2.3 三次预处理

采集系统采集的许多信号, 经过前两次预处理后, 都具有周期性变化规律, 或者其内部包含有周期性变化的因素, 因而提取出这些信号的频率、幅值、相位等特征量对于厚差诊断来说是非常重要的。傅立叶变换是解决此类问题最有效的工具, 其主要思想是将时间域内的

信号分解成为多个具有不同幅值、频率和相位的正弦信号, 并使得这些信号叠加后仍与原信号相同。这样, 便实现了对信号的频谱分析。

厚差信号经过低通滤波器和高通滤波器后, 分别得到厚差信号的低频信号部分和高频信号部分。它们的频谱分析图界面如图5, 6所示(作者用VB语言编制的)。

2.4 特征参数的模糊处理

经过上述数据处理后, 可以提取出诊断厚差的特征值, 如各段均值、标准方差、趋势项、低频的幅值和频率、高频的幅值和频率等。特征值对厚差诊断专家系统规则结论的影响程度没有一个明显的界限, 与特征值取值的大小有密切关系。采用模糊数学中隶属函数可反映出参数(即特征值)的变化对其可信度的影响。根据热轧带钢工艺的特点, 可定义如下三种隶属函数:

(1) 降半梯形分布

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & (x \leq a_1) \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1} & (a_1 < x \leq a_2) \\ 0 & (a_2 < x) \end{cases} \quad (8)$$

(2) 升半梯形分布

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq a_1) \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & (a_1 < x \leq a_2) \\ 1 & (a_2 < x) \end{cases} \quad (9)$$

(3) 梯形分布

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq a - a_2) \\ \frac{a_2 + x - a}{a_2 - a_1} & (a - a_2 < x \leq a - a_1) \\ 1 & (a - a_1 < x \leq a + a_1) \\ \frac{a_2 + x + a}{a_2 - a_1} & (a + a_1 < x \leq a + a_2) \\ 0 & (a + a_2 < x) \end{cases} \quad (10)$$

式中 x 为参数值, a_1, a_2 分别为专家提供的该参数的阈值, a 为工艺规定的值。

取何种隶属函数来计算参数的隶属度应视该参数对厚差的影响方向而定。此外, 还可根据需要扩充实用隶属函数。各参数的阈值在系统运行中应不断修正。

每个参数的可信度的计算是比较该参数的隶属度和预先由专家给定的可信度, 取其小者, 即

$$C_{ii} = \min\{\mu_A(x_i), p(x_i)\} \quad (11)$$

式中 $p(x_i)$ 为由专家给定的可信度。

参数经过模糊处理后, 便可用于专家系统的推理了。

REFERENCES

- 1 Ginzburg V B. High-quality Steel Rolling: Theory and Practice. New York: Marcel Dekker Inc, 1993: 159.
- 2 Ding Xiukun (丁修堃). Rolling Automation(轧制自动化). Beijing: Metallurgical Industry Press, 1986: 4~ 10.
- 3 Li Jie(李 劼), Wang Qianpu(王前普), Xiao Jin(肖 劲) *et al.* The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(3): 557~ 562.
- 4 Shi Hongbao(施鸿宝) and Wang Qiue(王秋荷). Expert System(专家系统). Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1990: 47.
- 5 Jimichi Y. ISIJ International, 1990, 30(2): 155~ 160.
- 6 Stirling D and Seving S. Expert System with Application, 1991, 3: 353~ 366.
- 7 Hu Guangshu(胡广书). Digital Signal Processing (数字信号处理). Beijing: Tsinghua University Press, 1997: 226~ 229.
- 8 Wang Tong(王 彤), Liu Xianghua(刘相华), Wang Guodong(王国栋) *et al.* Journal of Iron and Steel Research(钢铁研究学报), 1999, 11(2): 24~ 28.
- 9 Huang Yifu(黄一夫). Macrocomputer Control Technology(微型计算机控制技术). Beijing: Mechanical Industry Press, 1997: 46~ 50.
- 10 Langer R and Aigner C. Iron and Steel Engineer, 1996, (1): 40~ 45.

Data acquisition and processing of thickness deviation diagnosis expert system for hot strip mill

Wang Tong¹, Liu Xianghua¹, Wang Guodong¹, Zou Tianlai²,
Li Hongbin², Wu Yuxin², Zhang Gong²

1. The State Key Laboratory of Rolling and Automation,
Northeastern University, Shenyang 110006, P. R. China

2. Hot Strip Mill, Benxi Steel (Group) Co., Benxi 117021, P. R. China

Abstract: Thickness Deviation Diagnosis Expert System (TDD-ES) is the real time and on-line system based on sensors, the data acquisition and processing are the main portions of TDD-ES. Finisher signal needs to be pretreated after being collected by the sensor. The pretreatment include three steps, the first step is to be converted by speed and then by temperature, the second step includes low-pass filtering and high-pass filtering, the third step is to be analyzed by frequency spectrum for obtaining the characteristic parameters and then fuzzy processing them. The data after pretreatment can be used for the inference of TDD-ES so that the target rates can be improved.

Key words: hot rolled strip; data processing; thickness deviation diagnosis; expert system

(编辑 何学锋)