

BP 神经网络的火焰图像温度检测方法

王 韬, 刘 奇, 陈 洪, 孟川杰

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 基于炉膛火焰温度不同, 与之相对应通过 CCD 摄取的炉膛火焰图像颜色也不同, 提出了一种检测炉膛火焰温度的方法。将获取的炉膛火焰图像 RGB 模型转换为 HSI 颜色值, 用 H、S 值作为 BP 神经网络输入, 通过样本图像训练后, 拟合 H、S 与温度 T 的非线性关系, 计算得到炉膛火焰温度值。实验表明, 计算温度与实际温度良好相符, 温度测量方法切实可行。

关键词: CCD; BP 神经网络; HIS; 颜色模型

中图分类号: TH744.14

文献标识码: A

文章编号: 1672-4984(2005)02-0050-03

Temperature measurement method of flame images based on BP neural network

WANG Tao, LIU Qi, CHEN Hong, MENG Chuan-jie

(College of Electric Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Based on the fact that different furnace flame images captured by the CCD correspond with the different temperature of the furnace flame, a temperature measurement method of the furnace flame images is presented in this paper. Transforming the RGB color model images captured by the CCD into HSI color model images, training this neural network and approximating the nonlinear relationship between the color and the temperature based on BP neural network, the temperature is calculated. The experimental results prove that the calculating temperature accords with the actual one and show that the method is feasible.

Key words: CCD; BP neural network; HSI; Color model

1 引 言

设备安全运行的需要, 使得锅炉炉膛火焰温度检测成为一个重点。目前, 对炉膛火焰温度检测的方法大致可分为如下两种: 利用传感器通过热传导原理, 采用接触式的方法测温; 利用传感器通过热辐射的原理, 采用非接触的方法测温。对于接触式传感器, 测得的温度容易产生延迟现象; 对于非接触式传感器, 测得的温度容易受环境影响。

在非接触式测温中, 有一种利用接收物体发出的红外线(红外辐射), 将其热像显示在屏幕上, 从而判断物体表面温度分布的 CCD 方法。此方法测温由于具有准确、实时、快速等优点, 受到人们的关注。并且随着数字图像处理技术的不断发展与完善, CCD 法越来越得到广泛的应用。

理论上讲, 温度与图像颜色存在某种映射关系, 这种映射关系一般来说是非线性的。而 BP 神经网络

具有对非线性函数良好拟合的特点。所以我们采用 HSI 颜色空间, 选择 H、S 分量作为神经网络输入, 通过样本训练, 得到 H、S 与温度 T 的映射关系。

2 颜色模型的选择

CCD 采集的图像值为 RGB 颜色空间。RGB 空间主要是根据人眼锥体接收光线的方法来构造的一个模型, 它用三组独立的值来定义色调、饱和度和亮度。但在图像处理中, 由于 R、G、B 分量具有较高的相关性, 使得直接应用 RGB 分量值进行检测, 得到的效果并不理想。所以在温度检测之前, 应该对 RGB 颜色空间进行变换。

在选择颜色空间的过程中, 经过分析比较, 我们采用了 HSI 空间。因为 HSI 颜色空间用 H、S、I 三参数描述颜色特征, 其中 H 定义为颜色波长, 称为色调; S 表示颜色的深浅程度, 称为饱和度; I 表示强度。HSI 模型非常符合人类对颜色的认知, 适于图像处理。基于此原因, 我们通过变换得到图像对应的 HSI 值。关于 RGB、HSI 颜色空间的相互转换关系, 文献^[1]中有详细叙述。

RGB 到 HSI 颜色空间的转换中,存在多种变换方式,我们选择如下的公式^[2]:

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)}[\min(R, G, B)] \quad (2)$$

$$\theta = \arccos \left[\frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{[(R - G)^2 + (R - G)(G - B)]^2}} \right] \quad (3)$$

$$H = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 2\pi - \theta & B > G \end{cases} \quad (4)$$

3 神经网络的选择

自从上世纪 50 年代数学家 W. Pitts 和心理学家 W. S. McCulloch(见文献^[3])提出 M-P 神经元模型以来,模仿脑细胞结构和功能、脑神经结构以及思维处理问题等脑功能的神经网络得到了快速发展。由于人工神经网络具有复杂的动力学特性、并行处理机制、学习、联想和记忆等功能,以及它的高度自组织、自适应能力和灵活性,因此它一经出现,便受到学术界的广泛关注。

目前,在神经网络的实际应用中,由非线性普通变换单元组成的前馈网络,即 BP 网络及其变换形式,应用较多。这主要是因为 BP 网络对函数逼近、模式识别、分类、数据压缩有着良好的特性。对于这方面的问题,文献^[4]中进行了详细分析。

基本 BP 神经网络结构模型如图 1 所示。

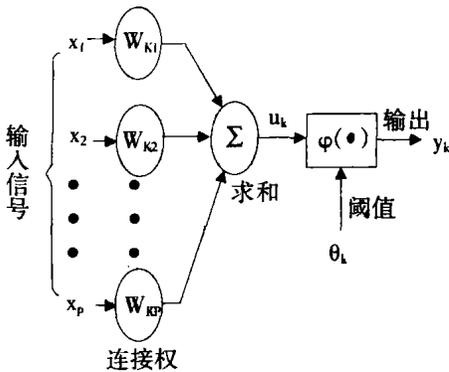


图 1 基本神经元模型

Kolmogorov 定理已经证明:给定任一连续函数,在满足一定条件下,可以由一个三层前向网络来实现。BP 定理进一步告诉我们只需三层的 BP 网络就可以实现在任意希望的精度上对连续函数的逼近。详细的定理阐述可以见参考文献^[5]与文献^[6]。至于通过使用多层网络减少隐层节点数,以及如何求取网络结构参数,可以见参考文献^[7]、文献^[8],其中对此有明确论述。

经过实验分析,考虑到计算精度、复杂程度,最终选择含有一个隐层的 BP 网络。模型输入层采用 H、S 分量作为输入,隐层含 8 个神经元,输入层到隐层的激活函数采用正切 Sigmoid 函数,输出层含有一个节点为温度 T,隐层到输出层的激活函数采用线性函数。因为网络规模不算太大,求解问题类型为函数拟合,以及收敛性能的需要,我们选择 Levenberg-Marquardt 优化。

4 实验方法

用红外感应枪测试炉膛指定部位的火焰温度作为标定温度,同时在 CCD 采集的图像中找出相应的测试区域。同一点在间隔较长的时间内多次测量,同时通过 CCD 获取相应的样本图像。将样本图像测试区域 R、G、B 值求平均后,按如前所述的公式转化成 H、S 值。

将求得的 H、S 分量作为神经网络的输入,训练样本得到 H、S 和温度 T 的映射关系。

检验分析结果。

5 实验结果及误差分析

根据用户信息反馈,炉膛火焰温度范围约在 800℃~1500℃范围,我们采集了此温度范围内的样本图像和温度数据,如图 2 所示。实际图像大小为 384×288。可以看出每张图像含有 5 个温度测试区域。



图 2 CCD 采集的样本图像示例

由于实际条件限制,不可能获取到测试区域上有规律的温度上升或下降的样本图像,所以某些图像间会出现测试区域温度相差不大的现象。作为样本图像,彼此间应具有一定的温度差异,这样才能体现温度变化与该区域图像值的对应关系。当然,温度差异也不能太大,否则样本训练结束后,通过 BP 网络测温可能造成计算温度与实际温度之间较大的误差。

表 1 简单的展示了温度在 1200℃~1400℃时,

图像右下方区域的 H、S 与 T 的关系。由于图像数据量较大,在此仅给出如下几组说明问题:

表 1 1200℃~1400℃内样本右下区域的 H、S 值

H	0.18366	0.26555	0.26788
S	0.73786	0.66417	0.67669
\sqrt{t} / °C	1213	1255	1269
H	0.28517	0.30303	0.31860
S	0.66051	0.64663	0.64354
\sqrt{t} / °C	1293	1348	1365

从上表可以看出,随着温度升高,同一区域的 H 值呈现上升的趋势, S 分量有下降的趋势。

实际采集的图像大小为 384×288。选择的测温区域大小为 9×9。CCD 采集的图像每秒 25 幅。实际测温时,为提高运算的准确性,可以把不同图像的另一区域简单相加进行统计平均,然后再计算 H、S 值。当然还有其他很多方法可以改善 H、S 值,对此不再论述。实验证明,通过 H、S 分量,可以得出如下结论:对同一区域,随温度不同,此区域对应的图像也不同。

样本图像数为 19 幅, BP 网络的隐层神经元个数为 8,均方误差指标为 $1e-6$,最高迭代次数 10000。将如表 1 给出的样本 H、S 分量作为 BP 网络的输入,训练神经网络。训练结束后,将检验样本输入 BP 网络,以验证模型的准确性。

实验证明,与实际温度相比,平均误差为 8.69℃,最大误差为 37.83℃。分析最大误差,发现误差存在于样本图像区域温度间隔相差最大的地方。这是可以理解的,因为理论上样本间隔太大,落在这两个样本间的数据误差越大。减小这种误差的办法就是增大样本数目,以减小间隔差异。

BP 网络性能验证结束后,用一组图像对炉膛火焰温度进行预测,这组图像是炉膛火焰燃烧稳定后通过 CCD 采集。温度曲线如图 3 所示。

由图 3 所展示,温度平均在 1400℃左右,这与炉膛实际温度情况是相符合的。说明 BP 模型建立正确,测温结果可信。

6 结 论

本文介绍了一种通过 CCD 采集炉膛火焰图像,

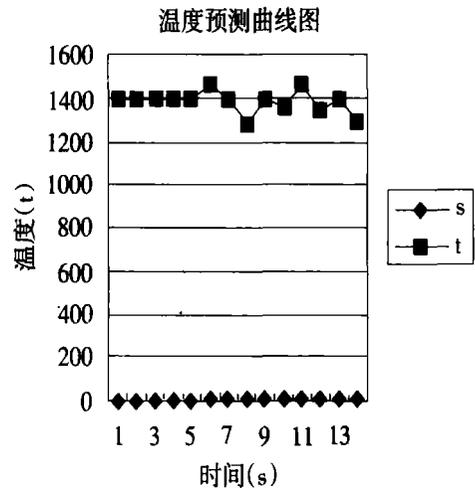


图 3 BP 温度预测曲线图

采用 HSI 颜色模型,用 BP 神经网络的方法拟合 H、S 与温度的非线性关系,计算得到炉膛火焰温度的方法。该方法精度较高,运算较快,切实可行。由于实验条件的限制,获取的样本图像还不够典型,下一阶段要做的是加大样本图像数目,进一步提高测温准确度。

参考文献

- [1] 王胜正,施朝健.基于两种颜色空间的颜色选择方法[J].计算机应用与软件,2004,21(2).
- [2] Rafael C. Gonzalez Richard E. Woods Digital Image Processing (Second Edition), Publishing House of Electronics Industry, 2003, 3.
- [3] 王洪元,史国栋.神经网络技术及其应用[M].北京:中华石化出版社,2002.
- [4] 金丕彦,芮勇.BP 算法各种改进算法的研究和应用[J].南京航空航天大学学报,1994,26(S1).
- [5] 段晓君.神经网络的函数逼近能力分析[J].模糊系统与数学,1998,12(4).
- [6] 飞思科技产品研发中心.MATLAB6.5 辅助神经网络分析与设计[M].北京:电子工业出版社,2003,1.
- [7] 瞿东晖,张立明.多层前馈网络在模式识别中的理论和应用[J].电子学报,1995,23(7).
- [8] 刘耦耕,贺素良.BP 神经网络结构参数的计算机自动确定[J].计算机工程与应用,2004,1(1).