

微弧氧化智能控制系统设计

易 宏, 孔凡友, 秦 林, 马 华

(太原理工大学 材料科学与工程学院, 太原 030024)

摘要: 为了解决当前微弧氧化系统数字化程度不高, 人机交互不够便捷的问题, 提出了一种基于 DSP 的微弧氧化智能控制系统; 完成了微弧氧化系统框架、电源硬件和电源系统软件的设计; 采用软件 PID 和硬件 PID 调节相配合的方法使电源输出稳定性和实时性都得到了提高; 采用了深度信念网络模型对微弧氧化试样的膜层厚度进行预测, 同时通过外部存储对运行数据进行存储有效提高了系统的人机交互友好性; 实际应用表明, 该系统操作方便、实时性好、工艺适应性好、可扩展性好, 达到了设计要求。

关键词: DSP; 深度信念网络; 实时监控; 微弧氧化

Design of Intelligent Control System of Micro-arc Oxidation

Yi Hong, Kong Fanyou, Qin Lin, Ma Hua

(School of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In order to solve the micro-arc oxidation system problem, such as: digitization is low and the operation is not convenient enough, a control system scheme of artificial intelligence in micro-arc oxidation power supply based on DSP is proposed. Micro-arc oxidation system, the hardware of the power supply and software of the power supply is designed at the same time. Power output is stable and real-time have been improved by the use of software PID and hardware PID adjustment. In addition, the belief network model is used to predict the film thickness after micro-arc oxidation, at the same time through the storage of operational data effectively improve the system's human-computer interaction. Practical application shows that the system is easy to operate, excellent process adaptability, scalability excellent and real-time outstanding meet the design requirements.

Keyword: DSP; belief network; real time monitoring; micro-arc oxidation

0 引言

微弧氧化是一种通过阀金属 (Al, Ti, Mg, Hf 等) 在电解液中进行等离子放电, 产生复杂的电化学反应, 在阀金属及其合金表面形成一层坚硬、致密的氧化陶瓷膜的表面处理技术^[1]。形成的陶瓷质氧化物膜层具有高阻态、耐腐蚀、耐磨损的性能, 在航天、航空、航海、机械、电子等领域有着广泛的应用前景。目前微弧氧化电源的控制系统数字化程度不够高, 主要表现在: 多数以单片机为核心, 存在算法单一, 控制精度不高, 系统响应不够及时。此外, 虽然利用到 Digital Signal Processing (DSP) 作为核心处理器, 但多数只用到其 PWM 输出模块和 A/D 采样模块实现高精度的闭环 PWM 控制功能, 而对其他的一些外设并未使用。

当前, 随着人工智能的快速发展, 在电气自动化控制中引入人工智能技术, 实现传统电气控制的转变, 进一步推动设备的发展。仿人工智能控制的基本思想是在控制过程中利用计算机模拟人的控制行为功能, 最大限度地识别和利用控制系统动态所提供的信息, 进行启发和直觉推理^[2]。因此本文设计了一种微弧氧化智能控制系统, 其特点如下:

其一, 利用 DSP 保障采集和处理数据功能得以实现且具

有足够的精度。首先 DSP 的 A/D 模块 (12bit 精度) 能采集微弧氧化电源的数据; 其次在实际生产中应用, DSP 能够有效的处理和保存相关数据, 保障微弧氧化电源效果的提高。

其二, 通过对微弧氧化过程的工艺参数进行存储, 便于下次使用同样参数时可以直接从存储中调用避免重复输入和误操作。

其三, 加入膜层厚度预测模块, 通过对已有试验样本的学习, 建立起实验因数与输出结果的映射^[3]。实现对电源不同工艺参数下膜层厚度的预测, 这对节约试验成本和优化实验工艺具有重要意义。

1 微弧氧化系统的设计

微弧氧化系统结构如图 1 所示, 主要包括电源、上位机、冷却系统和搅拌系统。此氧化系统电解槽采用的是自己设计的一种结构简单、操作方便结构, 采用 304 不锈钢管弯成螺旋状放入电解液中并且管内通冷却水来保证温度一定。同时 304 不锈钢管在氧化过程中担当阴极, 与工件在氧化过程中担当阳极组成微弧氧化过程中的两电极。在容器上加有温度传感器和以 PCF8591 为核心的 A/D 采样模块, 采样模块通过 IIC 接口与 DSP 通讯, DSP 可以将数据上传到上位机上, 便于对温度的观察。

2 微弧氧化电源总体设计

微弧氧化电源结构如图 2 所示, 主要包括主电路和控制系统电路。通过 DSP 的 PWM 模块与驱动电路控制斩波逆变电路实现对主电路的数字化控制。通过 DSP 内部 A/D 模块实现对电压、电流的采样再经过软件上的 PID 算法实现对负载的闭环控制。采用 SCI 接口实现 DSP 与上位机的通讯。另外,

收稿日期: 2016-11-07; 修回日期: 2016-11-17。

基金项目: 山西省留学回国人员科研经费资助项目 (2013-030)。

作者简介: 易 宏 (1992-), 男, 江西宜春人, 硕士, 硕士研究生, 主要从事新能源电源方向的研究。

通讯作者: 秦 林 (1974-), 男, 四川乐至人, 博士, 副教授, 主要从事新能源、双辉等离子方向的研究。

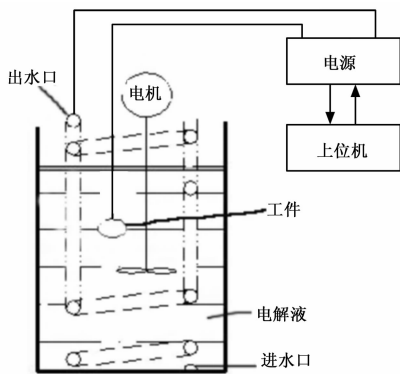


图1 微弧氧化系统示意图

通过外扩存储对运行过程的电源参数进行存储能对故障进行预先处理减少事故发生概率。该电源设计为,输出直流电压可在0~1 000 V连续可调,输出脉冲电压最大幅值电压1 000 V占空比和频率可调。能对电压、电流、占空比和试验温度进行实时监测并数字化显示。

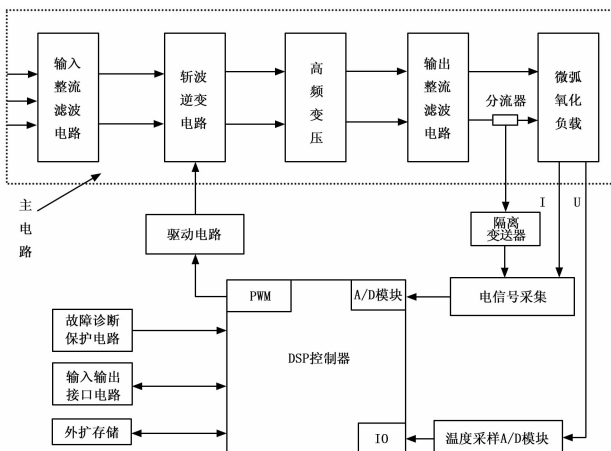


图2 电源结构示意图

3 电源硬件设计

本微弧氧化智能控制系统,以DSP核心芯片作为微处理器,采用硬件PI电路与uc3846配合的方法来驱动由4个IGBT组成的全桥逆变电路,该方式驱动能力强驱动过程稳定。采样电路上由于电流采样是直接反馈到硬件PI调节电路所以采用分流器与变送器配合的方式,与直接采用传感器相比其具有精度高且带隔离的特点。电压采样采用霍尔电压传感器(具有电磁隔离)。由于DSP内部存储有限而本设计需要对运行过程参数进行存储因此对其存储外扩SD卡。

3.1 主电路设计

主电路主要包括四部分,工频可控整流与电容滤波电路、斩波逆变电路、高频变压电路和次级整流滤波电路。主要过程为工频三相交流电经过整流滤波电路输出直流电,经由4个IGBT组成的移相全桥ZVS PW变换器输出脉冲电压,通过高频变压器升压、整流器整流、LC电路滤波后输出到负载^[4]。

3.2 数字信号处理芯片的选型

DSP是继单片机之后,当今嵌入式系统开发最为热门的关键技术之一。DSP芯片因为其具有稳定性、可重复性、可

集成性、柔性化编程和易于实现实时处理等特点目前已经成为热门电源控制芯片^[5]。TMS320X2833xDSP是TI公司一款用于控制的高性能、多功能、高性价比的32位浮点DSP。它整合了DSP和微控制器的最佳特性,是功能复杂的控制系统设计的最佳选择。作为目前应用最广性价比最高的DSP芯片之一,选择TMS320X28335作为本次设计的控制芯片。

3.3 驱动电路的设计

由于DSP端口高电平仅为3.3 V其负载能力不够,应加上驱动模块保护主控芯片。本设计选择目前市场上应用广泛的UC3846作为控制IGBT的控制芯片,采用PI调节与UC3846结合的驱动方式。UC3846是由美国公司Unitrode(现在已经属于TI公司)生产的性能稳定、具备控制功能的芯片。此芯片主要在桥式拓扑及推挽拓扑系统电路中应用,采用当前广泛应用的峰值电流型控制方式,输出信号具有两个互补输出端口,可以对IGBT进行直接连接和驱动,并可利用高频变压器实现与电网的隔离。

3.4 采样电路的设计

由于DSP采样要在0~3.3 V之间,为了不超出电压范围,保证电路的可靠性、保护芯片,电压电流的采样需要进行隔离。本设计电流采样考虑到PI调节对采样精度的要求,采用分流器与变送器配合的设计方式,其原理是电流通过分流器时会产生0~75 mV的电压信号,经变送器(具有光电隔离的作用)产生相应的电压再经过运算放大器放大为合适的电压输入到DSP芯片。电压采样采用霍尔传感器,其原理是,当电感电流流过霍尔传感器时,副边会感应到压降,此压降经过运算放大器放大为合适的电压输入控制芯片,就能反映出被采样的电压变化。

3.5 存储电路设计

在本设计中,由于TMS320F28335具有SPI总线,在连接的时候可以方便的进行外扩,并且也有利于系统以后的扩展,所以本系统选择了SPI总线的模式进行DSP与SD卡的连接。SPI模式的优点就是简化了主机的设计。

4 软件设计

本智能控制系统核心就在于软件的设计,以DSP作为核心处理器。通过设定好的占空比和从A/D模块采样的电压、电流信号进行PID运算输出实时性好、稳定性好的PWM波作为主电路的驱动信号。通过SPI接口实现外部存储的写入和读取。采用SCI接口与上位机通讯,上位机通过电源参数以深度信念网络模型对膜层厚度进行预测。

4.1 DSP软件开发

DSP采用输出PWM信号对逆变电路进行驱动,通过PWM占空比大小实现不同输出。TMS320F28335的每个ePWM模块可以产生两路PWM波^[6]。PWM波一个周期 T 分成了两个时期,高电平时期 t_1 和低电平时期 t_2 ,占空比 D 为 t_1 与周期 T 的比值。通过改变占空比的大小来控制IGBT的关断和打开的时间,从而使主回路也产生相应占空比脉冲电压。其中关联到的有周期和占空比,通过周期寄存器TBPRD赋值可以设定PWM的周期,周期计算见公式(1):

$$T_{PWM} = \frac{TBPRD + 1}{TBCLK \times 10^6} \quad (1)$$

再通过给比较寄存器CMPRx赋值可以设定占空比,占空比计算见公式(2):

$$D = \frac{CMPRX}{TBPRD + 1} \quad (2)$$

DSP 主程序控制流程如图 3 所示。首先对系统进行初始化, 然后循环等待选择 SD 卡存储的工艺参数或者上位机发送的控制指令。开启定时器, 启动 PWM 模块, 输出 PWM 控制信号通过 uc3846 驱动功率逆变电路中 IGBT 工作, 同时触发 A/D 采样模块, 对采集的电压或电流值进行 PID 运算实时更新 PWM 信号的占空比, 实现对系统的快速准确控制, 将该状态下的工艺参数按一定的算法实时写入 SD 卡, 达到处理时间后, 结束微弧氧化过程。

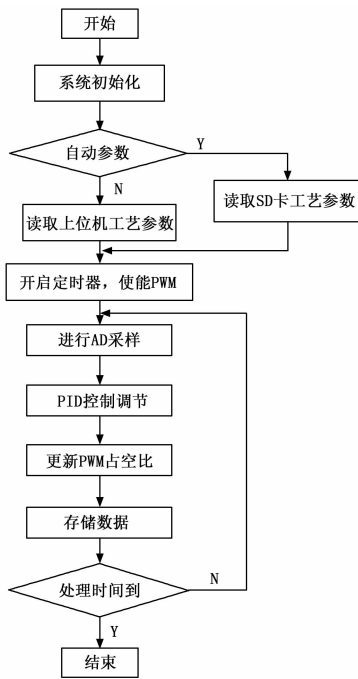


图 3 DSP 软件流程

4.2 SPI 通讯存储的实现

SPI 是一种高速同步串行输入/输出接口, 主要通过同步时钟线 (SCK), 主机输入/从机输出数据线 (MISO), 主机输出/从机输入数据线 (MOSI) 进行数据传输。另外还有一条低电平有效的从机片选择线 CS (card select) 用来选择主/从机模式。DSP 与 SD 卡的通信由 DSP 控制, 在对 SD 卡进行操作前必须先拉低 SD 卡的片选信号 CS, 然后发送命令。SD 卡对主机发送的任何命令都要进行响应, 除了对命令响应外, 在执行写操作时, 还要对主机发送的每个数据块进行响应。

SD 卡读写流程如图 4 所示, 其中写操作支持单块写和多块写, 单块写 (CMD24) 是只能写数据长度为 512 字节, 多块写是从指定位置写直到接收停止命令 (CMD12), 本设计采用单块写。操作时, 可首先向 SD 卡发送写数据块的命令字 CMD24, 在接收到 SD 卡的响应信号后, 再发送数据起始标志, 然后发送数据。当 SD 卡的回应信号为 E5H 时, 即表明 SD 卡可正确接收数据, 之后, SD 卡的输出口变为低电平, 表明正在写 SD 卡, 当输出口变为高电平时表明写操作完成^[7]。SD 卡的读操作与写操作的不同之处在于首先向 SD 卡发送的读数据块的命令字为 CMD17。

4.3 IIC 通讯的实现

由于 TMS320F28335 本身不具有 IIC 的模块, 因此, 需要

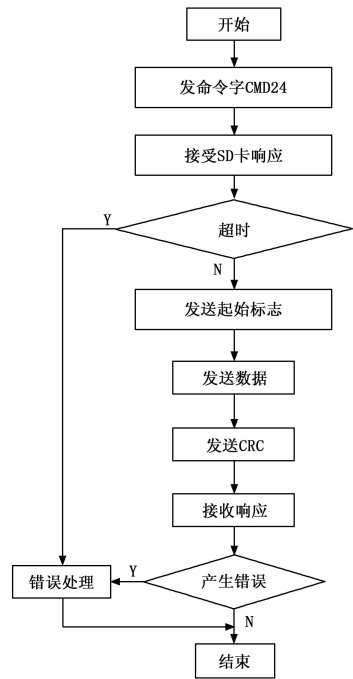


图 4 SD 卡发送/接收过程

通过 GPIO 口来模拟 IIC 接口的时序, 通过设置两个 GPIO 口作为 IIC 接口与 PCF8591 模块完成通讯。DSP 可以读取数据, 然后使用定时器的周期中断, 每隔 1 s 将信息发送到上位机。

4.4 预测网络模型建立

4.4.1 样本数据处理

进行网络训练, 需对输入、输出值进行归一化处理, 常用变换式 (3) 将输入、输出数值变换为 [0, 1] 区间的值。

$$\bar{x} = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

式中, x_i 代表输入或输出数据; x_{\max} 代表数据变化范围的最大值; x_{\min} 代表数据变化范围的最小值。

4.4.2 网络结构设计

网络结构设计由叠加的受限玻尔兹曼机 (restricted boltzmann machine, RBM) 和 BP 网络构成, 其结构如图 5 所示。训练过程可以分为两步, 首先, 使用无监督学习方法训练每一层 RBM, 且每个 RBM 的输入为上一个 RBM 的输出, 即每一层 RBM 都要单独训练, 确保特征向量映射到不同的特征空间时, 尽可能多的保留特征信息; 第二, 使用最后一层的 BP 网络接收最后一个 RBM 的输出, 用有监督的方式训练整个网络, 对其进行微调^[8]。

在网络训练过程中, 底层网络接收电压占空比、时间、电流、电压等的原始数据, 每层提取数据的特征, 并作为下一层的输入, 在上层网络形成更易分类的特征向量。一般采用 3 个 RBM 就可以保证足够的精度, 每个 RBM 由一个可见层和一个隐含层组成^[9]。可视层与隐含层间使用双向全连接, 学习规则采用 matlab 中全退火算法。

4.4.3 算法与流程

此网络模型无需预先给定公式, 而是以实验数据为基础, 经过无监督学习方式获得一个反映实验数据内在的规律, 从而建立数学模型, 因而特别适合于研究材料科学中复杂的非线性

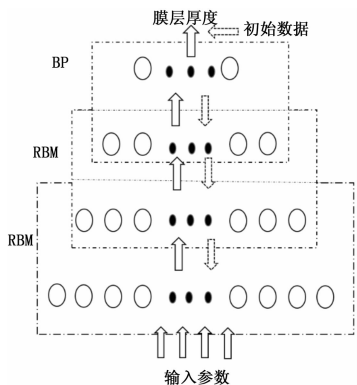


图 5 神经网络结构图

性问题。以下是基于神经网络的预测系统，流程参见图 6，主要工作步骤如下：

(1) 输入、输出向量样本集的设计。输入向量进行归一化处理，根据不同参数的微弧氧化过程的理论分析和实际经验，可以确定微弧氧化后材料渗层厚度。

(2) 构造网络结构模型，用学习样本对其进行学习训练，确定其结构参数。

(3) 以待测数据样本作为测试样本，输入到已训练好的网络进行测试，输出待测材料的渗层厚度。

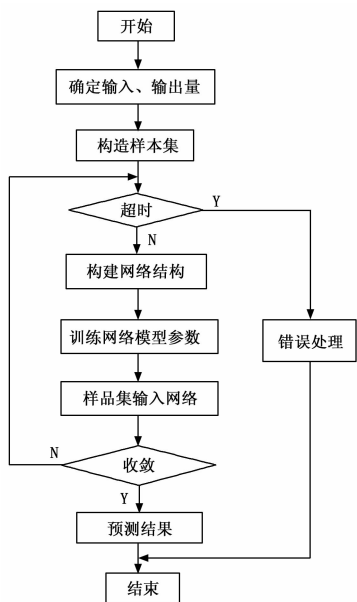


图 6 网络工作流程

4.5 人机交互的设计

本设计采用 SCI 接口实现 DSP 与上位机通信。SCI 提供通用异步接收/发送 (UART) 通信模式，UART 通信模式只需要两根信号线就可以和使用 RS232 的标准设备相连^[10]。应用 MAX3232 的接收端和发送端与 TMS320F28335 的 SCITXDA 和 SCIRXDA 引脚相连接，再与上位机通讯。其中 TMS320F28335 中的 SCI 通信具备中断和查询两种基本的方式，本设计采用中断的方式。DSP 的 SCI 模块初始化时首先在初始化程序里面设置 GPIO 相应的 SCI 口，再选择时钟模式，然后进行波特率的编写，最后需要使能内部的时钟。在 PC 机上的编程实现用到了 Windows 提供的 API 来实现对串口的操

作。设置上位机的通讯波特率、数据格式与 DSP 设置的一致就可以实现与 DSP 的通讯。

5 实验结果

对整个微弧氧化系统进行直流和脉冲操作测得到的波形如图 7，其中图 7 (a) 为恒压模式微弧氧化时测得的负载两端电压，其电压为 500 V，图 7 (b) 为在主变压器输出不整流产生的脉冲电压在微弧氧化过程测得的电压，其频率为 20 kHz 幅值电压为 450 V。从图中可以发现无论是直流还是脉冲此电源的输出电压都很稳定，频率可以在 0~20 kHz 连续可调，符合对微弧氧化电源高精度要求。

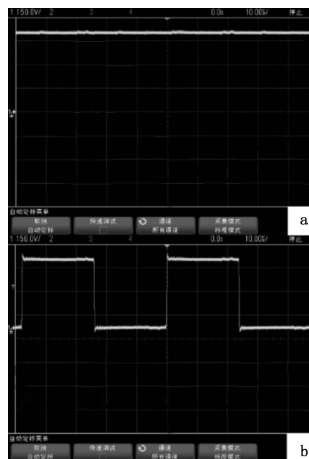


图 7 测得负载两端的直流和脉冲电压

采用 12 组单元元素分析微弧氧化数据 (包括 3 组不同电压、3 组不同电流、3 组不同氧化时间、3 组不同温度，电解液都为 15 g/L 的 Na_2SiO_3 溶液) 对深度信念神经网络进行训练。表 1 为对训练好了的网络模型用直流下 3 组不同电压 (电流 0.4 A, 氧化时间都为 20 min, 温度控制在 40℃ 以下, 电解液 15 g/L 的 Na_2SiO_3 溶液) 微弧氧化数据对其进行检验。结果可以看出其预测偏差在 10% 左右, 通过增加预训练试样的数量可以进一步提高预测精度。

表 1 不同电压下膜层厚度

电压/V	预测厚度/ μm	实际厚度/ μm	偏差/%
440	16	17	-5.9
450	20	19	5.3
470	28	25	12

6 结论

本文设计了一种微弧氧化智能控制系统，其具有实时性好、操作方便、扩展性好等优点。此系统可以将运行过程中的参数进行存储，在下次运行时可以选择直接调用前面选用的参数，简化微弧氧化的操作。利用深度信念网络所建立的模型能够通过电源参数来预测微弧氧化后的渗层厚度，可以有效的节约试验成本和优化实验工艺。可以对故障数据进行存储在事故没出现之前就对其进行处理，弱化事故发生环境。对系统的升级和扩展只需要软件算法的升级，对后续系统的升级非常方便。

参考文献:

[1] 冯欣荣, 吴汉华, 龙北玉. 多功能微弧氧化电源的研制 [J]. 仪表

技术与传感器, 2004 (9): 32 - 34.

- [2] 王 铎. 基于人工智能控制的微弧氧化开关电源 [J]. 电测与仪表, 2013 (10) 115 - 118.
- [3] Amos O A, Tunbosun B O, Mustapha O B. Application of artificial neural network to loan recovery prediction [J]. International Journal of Housing Markets and Analysis. 2016, 9: 222 - 238.
- [4] Yungtaek J, Milan M J. A New PWM ZVS Full-Bridge Converter [J]. Power Electronics, IEEE Transactions on. 2007. 22: 987 - 994.
- [5] 顾卫刚. 手把手教你学 DSP [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.

- [6] 孙丽明. TMS320F2812 原理及其 c 语言程序开发 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [7] 韩 方. 基于 DSP 的数据存储与传输系统的研究与设计 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [8] 田 杨. 改进的深度信念网在磨削加工粗糙度值预测中的应用 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016, 7 (7): 108 - 110.
- [9] 高 强, 马艳梅. 深度信念网络 (DBN) 网络层次数量的研究及应用 [J]. 科学技术与工程, 2016, (23): 234 - 238.
- [10] 郭伟伟, 马捷中, 翟正军, 等. DSP 与 PC 机之间的数据通讯研究 [J]. 微处理机, 2008, 29 (4): 155 - 160.

(上接第 87 页)

分类的要求^[17-18]。如图 6 中在进行分类前后各个数据函数的坐标位置图。

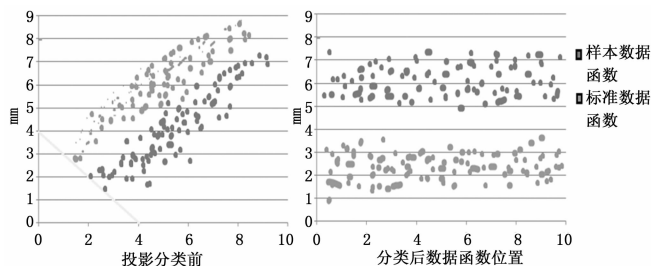


图 6 分类前后数据函数散点位置图

3.2.3 结果分析

在进行模式识别过程中进行的贝叶斯分类, 可以将图像数据中的函数值很完善的分类出来, 并且做到很具体的对比工作, 对网络图像监控所收集来的图像可以达到准确度 95% 的特征分类, 保证对于图像的解析和监控有较高的准确度。

最后利用以上的实验又进行了多种不同图像的实验分析, 因为实验所选取的图像都是已知数据的图像, 所以与实验结果的数据进行对比, 研究其图像进行处理后的提高程度百分比, 制成表 1。其中图像有景观图、人物图、夜间图、高速移动图 4 种图像。

表 1 不同图像处理后结果对比表

	原图信息提取百分比	处理后信息提取百分比	提高程度百分比
景观图	50%	95%	41%
人物图	54%	95.2%	45%
夜间图	32%	86%	62%
高速移动图	21%	76%	81%

表格中可以看出在进行处理之后, 图像的完成度都相对的提升, 并且对于具体特征的提取更加准确。这也在网络图像监控当中对于所需要监控的图片有更高的辨识度和辨识准确度, 为网络图像监控系统提高了性能和功能。

4 结论

通过图像处理技术和模式识别技术的简要阐述并且将其操作和运算过程进行分析。研究了图像处理技术和模式识别技术在网络图像监控中有很大的利用空间了利用度, 并且利用后的效果极为明显, 提高了网络监控设备的相关功能和性能, 加强

了这项技术在未来发展中的提高可能。通过两种技术分别实验后所得出的表现成果来看, 其应用于网络图像监控系统中是非常实用和可行性的办法。

参考文献:

- [1] 柴继贵. 图像监控技术的研究与应用 [J]. 电脑知识与技术, 2012, 8 (3): 677 - 678.
- [2] 姜雅慧. 基于模式识别的图像处理方法 [J]. 通讯世界, 2016, 2 (2): 262 - 265.
- [3] 边肇祺, 张学工. 模式识别 (第二版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [4] 王 强, 宋京民, 胡建平. 一种快速模板匹配目标识别算法 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 2 (6): 42 - 43.
- [5] 孟 斌, 冯永杰, 翟玉庆. 前馈神经网络中 BP 算法的一种改进 [J]. 东南大学学报 (自然科学版), 2001, 31 (4): 40 - 42.
- [6] 管菊花, 郭 波. 基于 DaVinci 技术的嵌入式智能监控系统 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (9): 2754 - 2757.
- [7] 瞿婷婷. 基于图像处理和模式识别的舌苔分析研究 [D]. 上海: 华东理工大学, 2016.
- [8] 薛志文. 基于模式识别的图像处理及其在车牌识别中的应用 [J]. 吕梁学院学报, 2016, 6 (2): 15 - 18.
- [9] 邓淇英. 基于数字图像处理的织物组织结构自动识别研究 [D]. 西安: 西安工程大学, 2016.
- [10] 刘奕博. 模式识别+阈值处理图像快速二值化 [J]. 发现: 教育版, 2016, 10 (9): 25 - 29.
- [11] 王 欣, 高炜欣, 武晓朦, 等. 基于模糊模式识别的焊缝缺陷图像检测 [J]. 西安石油大学学报自然科学版, 2016, 31 (4): 115 - 121.
- [12] 张芸峰. 检测自动化中的数字图像处理及识别探讨 [J]. 同行, 2016, 3 (4): 55 - 56.
- [13] 刘 浩, 杜倩云, 张 可, 等. 基于视频处理技术的路网交通运行状态模糊识别 [J]. 公路, 2016, 1 (2): 166 - 171.
- [14] 高 亮. 基于图像处理技术的非织造纤维木棉/棉混纺含量的测定 [D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [15] 胡丽乔. 复杂条件下人脸识别特征提取算法的研究 [D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [16] 李彦飞. 基于图像处理的字符识别方法研究 [J]. 当代教育实践与教学研究: 电子版, 2016, 3 (8): 163 - 164.
- [17] 商 磊. 基于动作特征的视频监控网络行人识别算法 [D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [18] 杨卢强, 韩通新. 基于高清图像处理的弓网检测识别算法 [J]. 铁道机车车辆, 2016, 36 (5): 82 - 84.