

文章编号: 1000-582X(2012)03-040-07

血浆絮状物无损检测系统设计

陈里里^{1a,1b}, 廖强^{1a,1b}, 杨正书^{1a}, 胡雪², 张国珍²

(1. 重庆大学 a. 机械传动国家重点实验室; b. 机械工程学院 重庆 400044;
2. 重庆医科大学附属第一医院 输血科, 重庆 400016)

摘要: 检测血浆中是否含有絮状物是保证输血安全的重要措施。针对絮状物人工检测法的缺点, 设计基于机器视觉技术和神经网络的血浆絮状物无损检测系统, 并对系统设计的关键技术进行研究。基于 MATLAB 平台设计系统软件以实现图像采集, 并采用剪切、反色、中值滤波、灰度切割对图像进行预处理; 采用 fisher 判别方法, 结合迭代阈值分割法和标注矩阵连通区域选择法, 消除气泡干扰, 提取絮状物。系统通过基于 BP 神经网络建立的识别模型, 完成血浆絮状物的判别。临床对比实验结果表明, 系统能有效地检测出血浆中是否含有絮状物, 具有较好的检测重复性和准确性。每袋样品从图像采集、处理到最终给出检测结果的时间不超过 1 min。

关键词: 机器视觉; 神经网络; 血浆絮状物; 智能无损检测; fisher 判别方法

中图分类号: R318.6; TP391.41

文献标志码: A

Design of nondestructive test system for plasma clots

CHEN Li-li^{1a,1b}, LIAO Qiang^{1a,1b}, YANG Zheng-shu^{1a}, HU Xue², ZHANG Guo-zhen²

(1a. The State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing 400030, P. R. China;

1b. College of Mechanical Engineering; 2. Blood Transfusion Department,

The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, P. R. China)

Abstract: One of the most important measures that are used to guarantee blood transfusion safety is to detect clots in the plasma before transfusion. To overcome the disadvantages of manual detection method, this research designs a nondestructive testing (NDT) system for plasma clots inspection based on machine vision technique and artificial neural networks. The key technology for system design are studied and presented. Image acquisition is performed by custom-designed software based on MATLAB platform, and the methods of image cut, reverse color, median filter as well as gray cutting are adopted to preprocess image. The use of fisher discrimination method, combined with iterative threshold segmentation method and the selection of connected domain, can successfully eliminate the interference of air bubble and correctly extract the image of plasma clots. Plasma clots are discriminated by a recognition model based on artificial neural network BP algorithms. The results of clinical contrast experiment shows that the system can effectively detect whether plasma contains plasma clots and the new system shows a much higher degree of repeatability and stability. From the image acquisition and processing to the recognition of plasma clots, the detecting time of a sample is no more than 1 min.

Key words: machine vision; neural networks; plasma clots; intelligent nondestructive testing; fisher discrimination method

收稿日期: 2011-10-25

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2006BB3176); 重庆市科委攻关项目(CSTC2008AC3026); 重庆大学“211工程”三期创新人才培养计划建设项目(S-09106); 重庆市卫生局科研项目(2010-2-086)

作者简介: 陈里里(1981-), 男, 重庆大学博士研究生, 研究方向为机器视觉检测技术。

廖强(联系人), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, (E-mail)lq922@163.com。

血液是重要且无可替代的稀缺医疗资源,新鲜冰冻血浆(FFP)、普通冰冻血浆(FP)和冷沉淀是临床最常用的血液制品。《中国输血技术操作规程》及EDQM(European Directorate for the Quality of Medicines and HealthCare)颁布的“Guide to the preparation, use and quality assurance of blood components”(15th Edition, 2009)均要求血浆制品应无絮状物^[1-2]。但是,受多种因素影响,血液的采集、运输、成分分离和储存条件等环节均有可能使血液质量受到影响,导致血浆制品出现絮状物。研究表明^[3],用血医院解冻血浆方法不当及血站制备血浆制品时速冻条件及时间不当是导致絮状物产生最主要的原因。输入含絮状物的血浆可引起输注不畅、栓塞等输血反应,甚至危及病人生命。因此,在血浆制品制备的多个环节,尤其是输注前,对絮状物进行有效检测是保证输血安全的重要措施。目前,只能依赖肉眼对光观察,查找血浆制品絮状物,当看到明显片状或颗粒状悬浮物时即对血浆进行过滤或报废^[4]。该方法难以觉察较为细小的絮状物,且费时费力,受主观影响较大。因此,寻找无损、自动、准确、方便、快速的絮状物检测方法已成为血站及医院血液质量管理的重要内容,以便减少血液浪费,保证输血安全。

机器视觉检测技术将被检测物体置于均匀照明的可控背景中,通过相机获取被检测物体的图像并将其采集到计算机中,然后由计算机中的图像处理软件将采集到的图像进行处理、识别。机器视觉检测技术广泛应用于工业、农业、生物医学等领域,如齿轮的精密测量^[5]、马铃薯片的识别^[6]、鸡蛋裂纹检测^[7]、茶叶的检测与分级^[8]、早期黑色素诊断^[9]、颅面重建^[10]、回肠炎程度的判别^[11]、老年痴呆病人的监测^[12]、输液机器人^[13]、血浆与血细胞分层界面的识别^[14]等,但目前国内外均无关于血浆絮状物自动化检测的报道。

针对现有人工检测血浆絮状物所存在的缺点,笔者基于机器视觉技术和模式识别理论设计了血浆絮状物无损检测系统,实现快速、无损、自动、准确判别血浆中是否含有絮状物。

1 系统组成及其工作原理

1.1 系统硬件组成

笔者设计的水浆絮状物检测系统基于PC架构,主要由光源照明模块、千兆网口彩色相机、计算

机以及自主研发的图像处理软件等组成。系统总体结构如图1所示。



图1 系统总体结构

在机器视觉应用系统中,好的光源与照明方案往往是整个系统成败的关键所在,起着非常重要的作用,并不是简单的照亮物体而已^[15]。好的照明模块需要突出被测物体的特征,尽可能区分需要检测的物体与无需检测的物体,增加对比度,并且还要保证足够的整体亮度。本系统的光源照明模块由暗箱、照袋器、光源、光源控制器组成。照明方式为透射式,使用日本CCS同轴照明(平行光)LED视觉检测光源,照明设计中使用频闪方式。暗箱的主要作用是屏蔽外界自然光产生的干扰。光源放在照袋器里面,血浆袋放在照袋器的载物台上。光源发出的光从下至上,垂直照向血浆袋。这样的照明效果,能够使血浆袋周围的背景成为全黑,血浆袋呈现高亮的状态,同时避免血浆袋表面反光的干扰,方便血浆絮状物检测。载物台采用厚度约为3 mm的毛玻璃片,以保证良好的透光性,使得到的图像噪声小、灰度变化均匀。千兆网口彩色相机离血浆袋的距离为10 cm,可使血浆袋在获取的图像中占据主要位置。

笔者选用的Genie千兆网口彩色相机将摄像机的功能和图像采集卡的功能集于一体,在数据传输、网络兼容性方面具有优势。

1.2 系统软件构成

本系统基于面向对象的思想进行软件设计,以实现系统软件单元化、复用性强、便于修改和扩展。根据系统识别的目标,构建了软件不同的功能单元:控制单元、图像采集单元、图像处理单元、图像识别单元、报告生成单元、结果存储与显示单元。软件结构如图2所示。本系统的软件是基于MATLAB平台,采用图形界面编程技术编写。

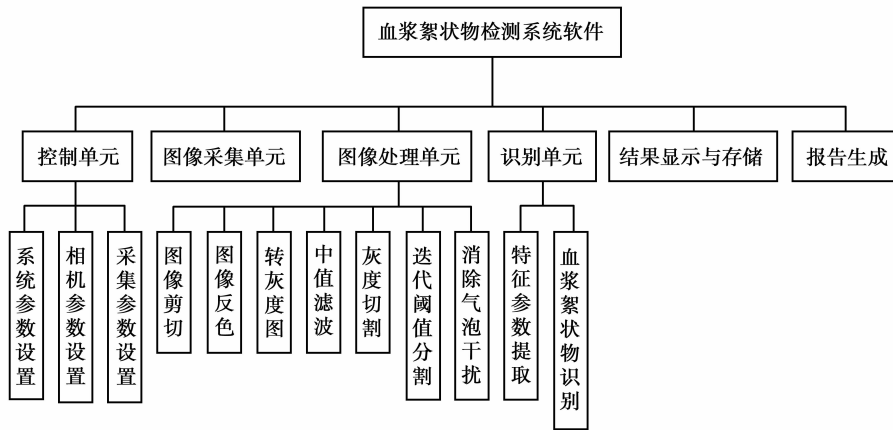


图 2 软件结构

1.3 血浆絮状物检测系统的工作原理

本系统的基本工作原理为:通过千兆网口彩色相机对待识别的血浆样品进行图像采集并进行 A/D 转换,输入到系统软件;然后由系统软件对血浆图像进行预处理,并消除图像中气泡的干扰,提取絮状物;最后提取特征参数,将提取到的特征参数输入预先建立好的识别模型进行有无絮状物的判断,得到结果。系统的工作流程如图 3 所示。

2 系统设计的关键技术与方法

2.1 基于 MATLAB 平台的图像采集技术

MATLAB 平台具有非常强大的图像处理功能,它的内部有很多图像算法包供设计者使用。另外,使用 MATLAB 开发软件,编程也非常简单。因此,笔者使用 MATLAB 平台进行系统软件开发,并且设计了基于 MATLAB 平台的图像采集技术。

2.1.1 动态链接库的建立方法

千兆相机生产商所提供的非标准动态链接库,还不能直接为本系统的软件调用。所以,实现图像采集首先需要创建适合于 MATLAB 平台的动态链接库(DLL),然后系统软件通过动态链接库,控制相机进行图像采集。动态链接库封装了用于图像采集的功能函数,并将这些函数提供给系统软件使用。笔者选择在 Visual C++ 6.0 环境中,使用 MFC 建立 Win32 DLL。动态链接库中封装了 5 个功能函数,它们分别是:初始化函数、采集开启函数、采集关闭函数、显示函数、保存函数。

创建动态链接库的方法分为 5 步:1)使用 MFC 应用程序向导创建一个新的动态链接库工程;2)将千兆相机生产商所提供的非标准动态链接库加入新建工程;3)在工程的 .cpp 文件中编写功能函数的实现代码;4)在工程的 .def 文件中,编写动态链接库的函数申明;5)编译工程,生成动态链接库。

2.1.2 图像采集方法

动态链接库(DLL)编写好以后,图像采集程序利用 MATLAB 工具箱的 loadlibrary 函数将动态链接库载入系统软件,然后利用 calllib 函数调用动态链接库中的功能函数,实现与千兆相机的通信。图像采集原理如图 4 所示。

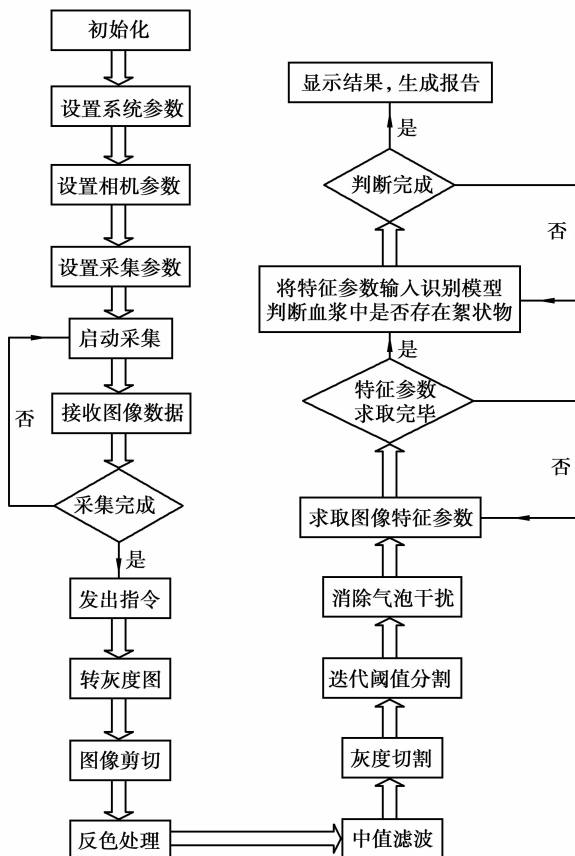


图 3 系统工作流程

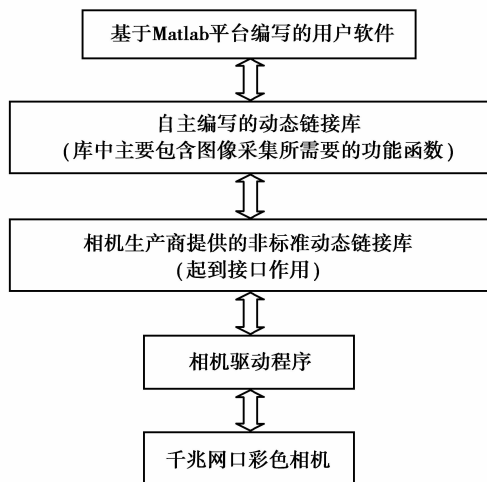


图4 图像采集原理

图像采集分为5步完成:1)调用动态链接库的初始化函数,完成采集参数和相机参数的设置;2)调用动态链接库的采集开启函数,建立与相机的链接,开辟内存的缓冲区,控制相机自动拍照;3)调用动态链接库的显示函数,实时显示采集图像;4)调用动态链接库的保存函数,将缓冲区的数据保存到计算机的硬盘;5)调用动态链接库的采集关闭函数,停止图像采集,并断开与相机的链接。

2.2 图像预处理方法

图5是使用本系统采集到的血浆图像。图5(a)所示的血浆图像由目标、背景、噪声和干扰组成。其中,目标是血浆絮状物,干扰主要是指血浆袋中的气泡。针对血浆采集图像的具体特点,本系统设计的图像预处理算法包括:转灰度图、图像剪切、反色处理、中值滤波、灰度切割增强。

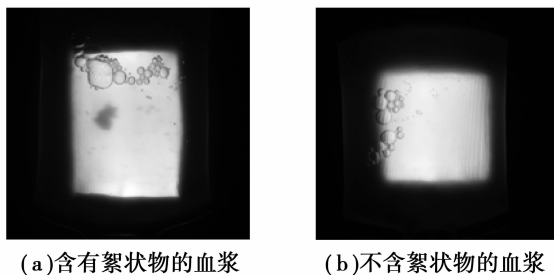


图5 血浆原始图像

彩色图像转灰度图:彩色图像颜色种类较多,不利于图像处理。而灰度图比较简单,将彩色图转为灰度图,既易于区分血浆絮状物,又可以提高图像的处理速度。笔者使用 MATLAB 工具箱中的 `rgb2gray` 函数将彩色图转为灰度图。

图像剪切:通过对血浆采集图像进行分析发现,图像受许多因素影响,幅面较大,存在无效信息,影响图像的处理和分析。包含血浆絮状物的小区域是采集图像的一个矩形子图,指定这个矩形子图的4个顶点,使用 MATLAB 工具箱中的 `imcrop` 函数进行裁剪,剔除区域以外的无用信息。

反色处理:将原图像灰度值翻转。

滤波处理:分别采用均值滤波、高斯滤波、维纳滤波及中值滤波对图像进行处理。经试验发现,中值滤波可以消除噪声引起的虚假细节,克服其他滤波方法所带来的图像细节模糊的问题,达到最优的滤波效果。所以采用中值滤波算法进行滤波处理。

图像增强:细小的血浆絮状物颜色很浅,为了更灵敏地检测出絮状物,必须增强图像的对比度。分别采用线性灰度变换和灰度切割两种方法对图像进行对比度增强,经试验发现灰度切割能够有效地增强图像的对比度,突出图像中絮状物的亮度。

2.3 血浆采集图像中气泡干扰的消除方法

因为血浆絮状物本身的特性,在其周围常吸附气泡,因此有效消除气泡干扰,是实现血浆絮状物无损检测的前提和关键。目前大多数研究将气泡作为目标物,较少将气泡作为干扰进行处理。笔者基于迭代阈值分割和 Fisher 判别分析法设计气泡的消除方法。

研究过程中发现,气泡与血浆絮状物连通区域的面积(这里指的是连通区域像素的个数)和直径(与连通区域具有相同面积的圆的直径)存在明显的差异,所以,可利用这个特点,消除气泡干扰。

设计的气泡干扰消除方法步骤如下:

1)使用迭代阈值分割法完成血浆采集图像的二值化,以消除气泡以外的其他干扰。

2)标注二值化图像的连通区域,同时生成标注矩阵。

3)测量标注矩阵每个连通区域的面积和直径属性,生成结构数组。

4)获取每个连通区域面积和直径的值。

5)将连通区域面积值 X_1 和直径值 X_2 代入建立好的 Fisher 判别模型求得函数值。将其与判别临界值比较,大于临界值,则该连通区域属于血浆絮状物;反之,则为气泡干扰。

6)查询血浆絮状物连通区域的索引,根据索引结果,生成一个和标注矩阵大小相同的图像矩阵。该矩阵在索引区域赋值1,在其他区域赋值0。

系统软件根据以上步骤,可以自动完成对气泡干扰的消除。由于在二值化图像中,连通区域要么是气泡,要么是血浆絮状物,所以,确定连通区域面积与直径的判别函数和临界值是本方法运用成功的关键。

本研究应用 Fisher 判别分析,建立判别函数并计算出气泡和血浆絮状物的判别界值,最后验证判别分类准确率。步骤如下:

1) 选取 12 例气泡对象和 12 例血浆絮状物组成先验组,将连通区域的面积值 X_1 和直径值 X_2 作为判别指标(又称因变量)。

2) 模型建立的检验。进行变量在不同类中均值相等的检验, X_1 和 X_2 的 wilk's λ 值分别为 0.171, 0.090, 显著性水平均小于 0.05。再进行方差-协方差阵相等的检验,检验统计量为 Box's M,在 0.001 的显著性水平上拒绝协方差矩阵相等的零假设检验。根据模型建立的统计量检验结果,可以认为所建立的判别函数在统计上是有效的。

3) 建立判别模型,即

$$Y_1 = 0.008 \times X_1 - 0.114 \times X_2 - 2.561, \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.006 \times X_1 + 0.496 \times X_2 - 24.995, \quad (2)$$

式中: X_1 代表连通区域的面积值; X_2 代表连通区域的直径值。

4) 求判别临界值。将气泡组 2 个指标的均值 $\bar{X}_1(591.75, 7.92)$, 及血浆絮状物组 2 个指标的均值 $\bar{X}_2(2019.50, 74.00)$ 代入判别函数,可得 $Y_1 = 1.270, Y_2 = 23.866$, 判别临界值 $Y_c = 12.568$ 。

5) 判别模型使用效果检验。将初始数据代入判别函数作自身验证,结果表明建立的判别函数对初始分组案例 100% 地进行了正确分类。

2.4 基于人工神经网络的血浆絮状物识别方法

2.4.1 特征参数提取

经过预处理与气泡干扰消除后,需对采集图像提取特征参数。提取的特征参数包括基本统计信息和纹理统计信息两大类。前者包括图像均值、图像标准差、目标区域的面积、目标区域的欧拉数 4 个特征参数。后者采用统计法提取,包括平滑度、三阶矩、一致性、熵。即,一个待检测的样本由 8 个特征参数来表征。

2.4.2 血浆絮状物识别模型的建立

正确判断待测血浆中是否包含絮状物的关键是建立一个有效的识别模型。笔者基于 BP 神经网络

建立识别模型。

本研究中,训练集为 80。由于提取的特征参数具有不同的单位和量级,所以,为了提高模型的精度,在建立模型前,首先对获取的特征参数进行归一化处理。利用 MATLAB 自带的函数对输入模型的原始特征参数进行归一化,归一化后的数据具有零均值和单位方差。模型的输入有 80 组样本数据,每一组数据是一个 8 维的特征向量。80 组数据中有 40 组数据代表含有絮状物的样本,另 40 组代表不含絮状物的样本。采用(1,0)、(0,1)分别表示样本含有絮状物和不含絮状物(正常)2 种模式。

基于 BP 神经网络创建的识别模型基于 2 条指导原则^[16]:1)对于一般模式识别问题,3 层网络可以很好地解决。2)3 层网络中,隐含层神经元个数 n_2 和输入层神经元个数 n_1 之间的近似关系为 $n_2 = 2n_1 + 1$ 。因此设计的识别模型分 3 层:输入层、隐含层、输出层。模型输入层神经元个数为 8,输出层神经元个数为 2,隐含层神经元个数根据经验公式和多次试验确定 20。模型输入向量的范围为 $[-1, 1]$,隐含层神经元的传递函数采用的是双曲正切 S 型函数,输出层神经元传递函数采用的是 S 型对数函数。学习函数采用的是梯度下降动量学习函数,性能函数采用的是均方误差性能函数。这里利用 MATLAB 神经网络工具箱来创建血浆絮状物识别模型。

模型创建以后,并不能直接投入使用,必须经过训练并且达到要求后,才可以作为血浆絮状物识别使用。模型的训练过程是一个不断修正权值和阈值的过程,通过调整,使模型的输出误差达到最小,满足絮状物识别的要求。模型的训练函数采用的是 BFGS 准牛顿 BP 算法函数,训练函数利用 Levenberg-Marquardt 算法对模型进行训练。最大训练次数设置为 1 000,训练精度设置为 0.000 001,网络训练结果如图 6 所示。训练结果表明,经过 27 次训练后,误差可达到设定的最小值。

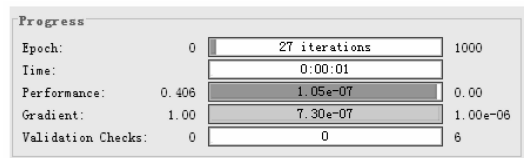


图 6 网络训练结果

3 实验方法及结果

3.1 实验材料和方法

实验样品为重庆医科大学附属一院输血科提供的80袋血浆。其中含有絮状物的样品40袋,正常不含絮状物的样品40袋。同时使用本系统和人工目测法对每袋血浆进行检测,随之运用SPSS分析软件对检测结果进行对比分析。

3.2 实验结果

图7为应用本系统对样品进行图像采集时的软件界面。



图7 图像采集时的软件界面

图像预处理和气泡干扰消除的效果如图8所示,按8(a)→8(b)→8(c)→8(d)→8(e)→8(f)的顺序依次进行。

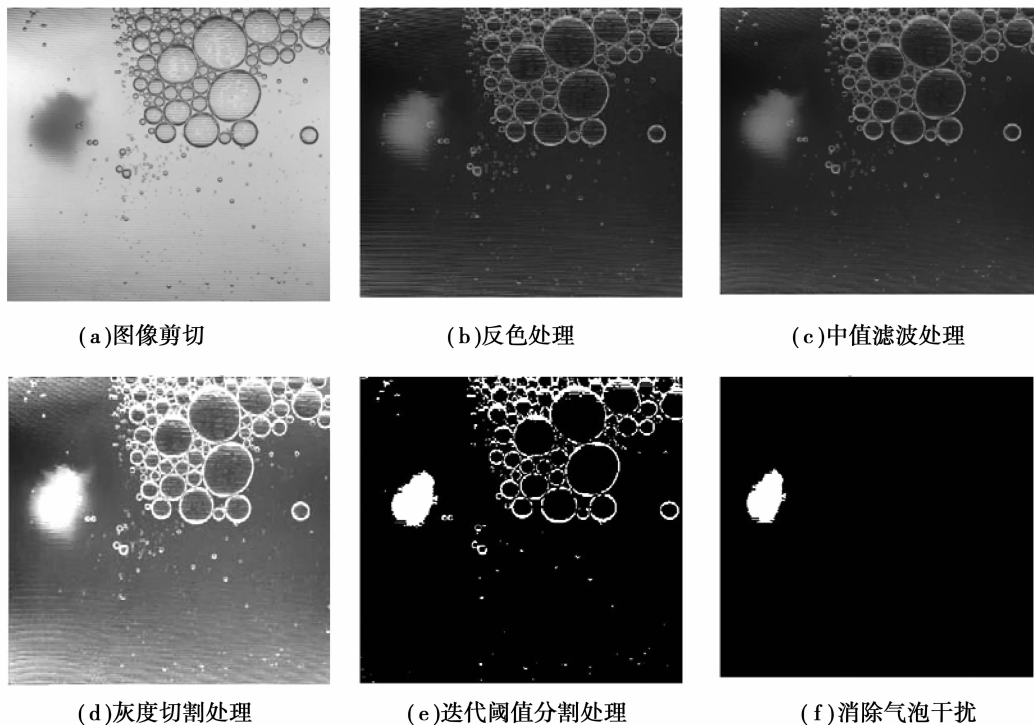


图8 图像预处理和气泡干扰消除的效果图

从实验结果得出,本系统采用的图像预处理算法和气泡干扰消除算法能够较好地消除噪声和干扰,有效地提取血浆絮状物。本系统和人工法检测结果的对比如表1所示。

表1 识别结果对比

本系统	人工法		Total
	含有絮状物	不含絮状物	
含有絮状物	39	0	39
不含絮状物	1	40	41
Total	40	40	80

将表1数据作配对设计两样本率的精确概率法比较分析,Exact Sig 值(P 值) >0.1 ,两组间率无显著性差异,表明本系统能够正确检测出血浆中是否含有絮状物。此外,每袋样品从图像采集、处理到最终给出检测结果的时间均不超过1 min。

4 结论

针对国内外血浆絮状物人工检测法的不足,提出基于机器视觉技术和模式识别理论的血浆絮状物无损检测系统设计,实现血浆图像的采集、实时处理、气泡干扰消除、自动识别絮状物和结果储存。系统已进行临床试验,实验结果表明该系统具

有较好的检测重复性和准确性,工作稳定可靠,实现了预定的功能和系统指标,能快速、无损、自动判别血浆中是否含有絮状物。本系统设计简洁、灵活、容易扩展,便于推广和应用,具有较好的临床运用价值、研究价值和市场经济价值。针对目前的理论研究和系统实际运用,未来研究重点放在引入嵌入式技术,进而实现系统的经济性、小型化和便携式。

致谢:感谢重庆市中心血站、重庆医科大学附属第一医院输血科对本研究的大力支持。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国卫生部. 中国输血技术操作规程(血站部分)[S]. 天津:天津科学技术出版社,1997.
- [2] European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare. Guide to the preparation, use and quality assurance of blood components [M]. 15th ed. [S. l.]: Council of Europe, 2009.
- [3] 陈兴智,谭庆芬,韦雪凤,等. 临床血液报废情况的调查[J]. 中国输血杂志,2008, 21(2):130-131.
CHEN XING-ZHI, TANG QIN-FEN, WEI XUE-FENG, et al. The investigations of blood abandon [J]. Chinese Journal of Blood Transfusion, 2008, 21(2): 130-131.
- [4] 中华人民共和国卫生部. GB18469-2001 全血及成分血质量要求[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [5] GADELMAWLA E S. Computer vision algorithms for measurement and inspection of spur gears [J]. Measurement, 2011, 44(9): 1669-1678.
- [6] PEDRESCHI F, MERY D, BUNGER A, et al. Computer vision classification of potato chips by color[J]. Journal of Food Process Engineering, 2011, 34(5): 1714-1728.
- [7] PAN L Q, ZHAN G, TU K, et al. Eggshell crack detection based on computer vision and acoustic response by means of back-propagation artificial neural network [J]. European Food Research and Technology, 2011, 233(3):457-463.
- [8] GILL G S, KUMAR A, AGARWAL R. Monitoring and grading of tea by computer vision-a review [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(1):13-19.
- [9] MONHEIT G, COGNETTA A B, LAURA F, et al. The performance of MelaFind-a prospective multi center study of an objective computer vision system for early melanoma detection [J]. Archives of Dermatology, 2010, 147(2): 188-194.
- [10] BHANDARKAR S M, CHOWDHURY A S, TANG Y, et al. Computer vision guided virtual craniofacial reconstruction [J]. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2007, 31(6):418-427.
- [11] KUMAR R, SESHAMANI S, MULLIN G E, et al. Computer vision enabled analysis for crohn's disease severity assessment in capsule endoscopy [J]. Gastroenterology, 2011,140 (5): 423.
- [12] OZTURK O, AKGUL C B, ERCIL A, et al. Automatic analysis of hands clapping in severe Alzheimer patient via computer vision techniques [J]. Alzheimer's and Dementia, 2011, 7(4):454.
- [13] 李杨果. 视觉检测技术及其在大输液检测机器人中的应用[D]. 长沙:湖南大学, 2007.
- [14] CHARLES D H. Machine vision: applying industrial technologies in clinical laboratory automation for quality inspection [J]. Washington G-2 Reports, 2008, 16 (6):1-8.
- [15] 段峰. 啤酒瓶视觉检测机器人研究[D]. 长沙:湖南大学, 2007.
- [16] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与 matlab 7 实现: MATLAB 应用技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2005.

(编辑 张 莘)