

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2024.03.011

医学影像物理

“新医科”背景下医学图像处理教学软件的研究与开发

刘燕茹¹, 毕宇越¹, 汪宇航¹, 朱婷², 贾俊妮², 唐思源²

1. 包头医学院医学技术学院, 内蒙古 包头 014030; 2. 包头医学院计算机与科学技术系, 内蒙古 包头 014030

【摘要】针对“新医科”背景下医学图像处理课程所面临的形势和教学现状,开发了与其教学过程高度契合的医学图像处理教学软件,该教学软件可实现医学图像的线性灰度变换、开窗显示、缩放、旋转、镜像、中值滤波、微分锐化、边缘检测、直方图获取和直方图均衡,并可在一定范围内调节线性灰度变换、开窗显示、缩放、旋转、中值滤波、微分锐化、边缘检测的参数,同时用不同算法实现了医学图像的缩放功能。该教学软件用于包头医学院医学图像处理课程理论与实验教学中,可提高学生学习的主动性和积极性,能强化学生对放射技师考点知识的理解,为后续课程的学习打下坚实基础,最终实现“新医科”背景下包头医学院医学影像技术专业“医工”、“医理”的深度交叉融合。

【关键词】医学图像处理;新医科;教学软件开发

【中图分类号】R318;TP391.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)03-0333-07

Research and development of teaching software for medical image processing under the background of "new medical science"

LIU Yanru¹, BI Yuyue¹, WANG Yuhang¹, ZHU Ting², JIA Junni², TANG Siyuan²

1. School of Medical Technology, Baotou Medical College, Baotou 014030, China; 2. School of Computer and Science Technology, Baotou Medical College, Baotou 014030, China

Abstract: In response to the current situation and teaching status of the medical image processing course on the background of "new medical science", a teaching software which is highly compatible with the teaching process of medical image processing is developed. The teaching software allows for linear grayscale transformation, windowing display, scaling, rotation, mirroring, median filtering, differential sharpening, edge detection, histogram acquisition, and histogram equalization of medical images. Additionally, it enables parameter adjustments within a certain range for linear grayscale transformation, windowing display, scaling, rotation, median filtering, differential sharpening, and edge detection. Meanwhile, it employs different algorithms to achieve the scaling of medical images. The teaching software is used in the theoretical and experimental teaching of medical image processing courses at Baotou Medical College. It can improve students' initiative and enthusiasm in learning, strengthen their understanding of the examination points for radiology technicians, lay a solid foundation for subsequent courses, and ultimately achieve the goal of in-depth integration of "Medical Engineering" and "Medical Science" in the medical image technology major at Baotou Medical College under the background of "new medical science".

Keywords: medical image processing; new medical science; development of teaching software

【收稿日期】2023-10-09

【基金项目】内蒙古自治区教育科学研究“十四五”规划课题 (NGJGH2022218);内蒙古自治区大学生创新创业训练计划项目 (S202310130011);包头医学院“问学计划”“为学计划”“践学计划”研究项目 (2021BYWWJ-YB-34)

【作者简介】刘燕茹, 硕士, 副教授, 研究方向: 医学图像处理, E-mail: liumin_1009@126.com

【通信作者】唐思源, 硕士, 教授, 研究方向: 医学图像处理, E-mail: 584436042@qq.com

前言

医学影像技术专业作为医学类高等院校的一个专业,是集物理学、信息工程学、医学等多学科相互渗透的综合性技能学科^[1-2]。包头医学院医学影像技术专业人才培养目标为:培养能在医疗卫生机构从事医学影像检查、放射治疗及影像设备维护、图像处理等相关工作,能在医疗设备生产企业从事影像设备售后维护等工作的应用型人才。《医学图像处理》

课程是医学影像技术专业的理工类核心课,是《医学影像诊断学》、《医学影像设备学》等的先修课。该课程的教学对医学影像技术专业“医工”、“医理”的结合以及高质量人才的培养有着非常重要的作用^[3-5]。

《医学图像处理》课程涉及的图像处理方法众多,模型复杂,算法较难且抽象,为课程高质量教学带来一定挑战^[6-8]。《医学图像处理》课程的实验教学是其课程教学的一个重要环节,它不仅是理论教学的重要补充,同时也是“医工”、“医理”结合的重要手段,是培养学生独立思考问题、解决问题能力、创新能力的关键,是理论联系实际的重要纽带。

为实现包头医学院《医学图像处理》课程理论教学和实践教学的高度契合,提高该课程的教学质量,加强“新医科”背景下“医工”、“医理”的结合,为后续课程《医学影像设备学》、《医学影像诊断学》、《医学影像检查技术》等课程打下坚实的理论基础,为医学影像技术专业培养高质量德才兼备的人才,开发《医学图像处理》实验教学软件显得尤为重要^[9-11]。

1 《医学图像处理》教学软件功能与设计

基于“课程思政+新医科”视角,立足于包头医学院医学影像技术专业培养目标、《医学图像处理》大纲和《医学图像处理》教材,参考各大医院影像科各类型医学影像设备、包头医学院计算机断层扫描成像设备(Computed Tomography, CT)、数字 X 线机(Digital Radiography, DR)实验用模拟机中普遍使用的医学图像后处理方法,以及大量放射职业技师等考试仿真试题中涵盖的医学图像处理知识点的基础上^[12-14],为《医学图像处理》课程开发课堂教学软件。

1.1 《医学图像处理》教学软件的功能

《医学图像处理》教学软件一方面可作为理论课程教学的教具,用于图像处理方法教学模型推导、算法优缺点比较、参数作用分析、源代码以及思政教育等具体内容的讲授。另一方面,可作为《医学图像处理》实验教学的实验器材,将其存储在任何一台电脑上,学生通过操作该教学软件中各种图像处理方法,调节与之相关的参数,分析图像发生变化的原因以及参数对图像处理结果的影响,实现实验教学对理论教学内容的验证和促进作用,提高课堂教学效果,让学生知其然且知其所以然,为《医学影像设备学》、《医学影像诊断学》、《医学影像检查技术》等课程打下坚实的理论基础,强化医学影像技术专业“医工”、“医理”的交叉融合^[15-16]。

1.2 《医学图像处理》教学软件的设计

据上述软件功能和开发意图,融合医学图像处理教材,包头医学院医学图像处理教学大纲,放射技

术仿真试题中涉及的医学图像处理知识点,以及包头医学院临床附属医院、医学影像实验中心 CT、DR 模拟机图像后处理方法,《医学图像处理》教学软件的设计如图 1 所示。图 1 中共有 10 种医学图像处理方法,分别为医学图像处理方法点运算中的灰度变换、开窗显示,几何运算中的缩放、镜像和旋转,直方图获取和均衡,中值滤波,微分锐化和边缘检测^[17-19]。

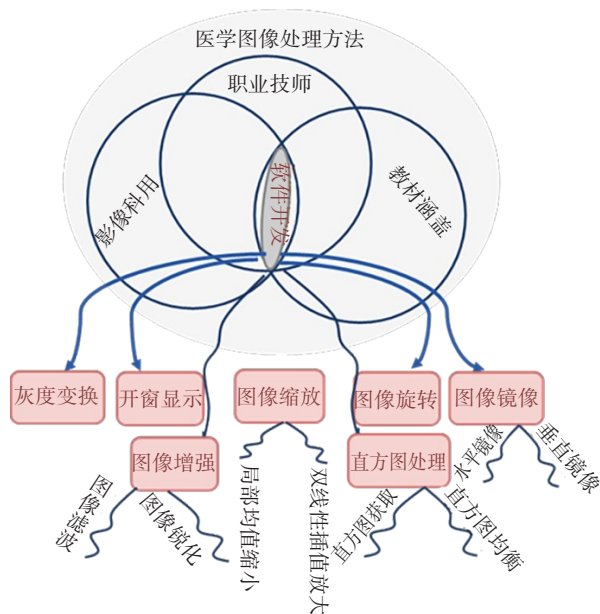


图 1 《医学图像处理》课程教学软件设计
Figure 1 Design of teaching software for the medical image processing course

2 《医学图像处理》教学软件实现

2.1 软件开发环境

因包头医学院医学影像技术专业的计算机程序设计课程讲授内容为 C 语言,考虑课程之间的衔接,软件编写采用 Windows 2007 系统和 VC++6.0 开发环境,利用 C++ 语言实现基于可视化界面的医学图像处理教学软件的编写,通过插入菜单类(Menu)实现了如图 2 所示的可视化界面。

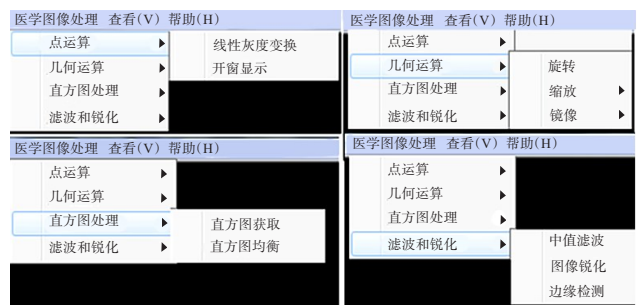


图 2 医学图像处理教学软件界面
Figure 2 Interfaces of the teaching software for medical image processing

2.2 教学软件菜单栏介绍

滤波锐化属于图像增强的范畴,图像增强即改善图像质量的方法,或加强图像某些特征的措施。教学软件中主要实现了基于参数可调的中值滤波、微分锐化和边缘检测功能^[20-21]。

图像的灰度直方图是医学图像中各灰度值与图像中具有该灰度值的像素点总数间的统计关系图形,它反应了图像亮暗的整体效果,其应用包括直方图均衡、边缘检测中的自动阈值选取和图像分割中的自动阈值选取等,直方图的均衡将变换后的图像灰度直方图在较大的动态范围内趋于均衡,具体表现在一方面可使图像的灰度动态范围变大,另一方面让灰度频率较小的灰度级经变换后其频率变得大一些,从而使像素个数增多以醒目^[22-23]。软件主要实现了直方图的获取和直方图均衡两个功能,将其作为教学工具用于课堂,教师通过操作软件或让学生实时修改源代码,可让学生亲眼看到图像的直方图以及直方图均衡后的图像,以及修改代码后的运行结果,能增加学生学习的主动性和积极性,提高课堂教学质量,并把透过现象看本质、精益求精的工匠精神,认真细致的处事态度,以及积极科研探究和创新精神等思政元素引入课堂教学中,实现润物细无声的思政教育。

几何运算是把图像像素点的空间位置或图像的空间尺寸按某种映射关系映射为不同的空间位置或不同的空间尺寸,临床中常见的几何运算包括医学图像的放大、缩小、旋转和镜像等。该软件主要实现医学图像的缩放、旋转和镜像^[24-25]。其中,缩放和旋转功能中缩放系数和旋转度数可以分别调节,且缩放分别用直接缩放法、局部均值缩小法和双线性插值放大算法进行实现。将其应用于课堂教学,除了可获得直方图获取与直方图均衡的课堂效果外,在理论课讲解直接缩放、局部均值缩小和双线性插值放大算法对比时,用软件演示可帮助学生理解知识的同时,把矛盾的哲学原理引入课堂中,实现课堂思政教育。

界面设计利用 VC++ 6.0 中的对话框(Dialog)类,静态文本框控件(Static Text)、滑动空间滑动控件(Slider)和编辑框控件(Edit Box)等获得缩放、旋转功能的组合界面,如图3所示。

点运算又称图像的对比度拉伸,基本特点是输出图像某像素点的灰度值仅与输入图像对应点的像素值有关,而与输入图像的其他像素值无关,临床中常见的点运算有线性灰度变换和开窗显示等。该软

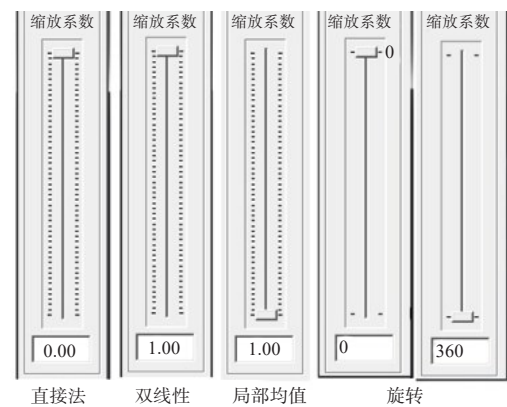


图3 缩放旋转功能的组合界面
Figure 3 Combination interface of zooming-rotation

件主要实现了医学图像的线性灰度变换和开窗显示,且两种方法的参数均可以调节。下面重点介绍这两种方法。

2.3 线性灰度变换

线性灰度变换按线性灰度映射关系对医学图像进行灰度变换,其数学模型如式(1)所示:

$$G_i(n,k) = c * G_o(n,k) + a$$
 (1)

其中, $G_o(n,k)$ 表示原始图像 (n,k) 点的灰度值, $G_i(n,k)$ 表示线性变换之后目标图像 (n,k) 点的灰度值, c 表示线性灰度变换系数, a 表示亮度调节系数,线性灰度变换结果受 c 和 a 的影响。

线性灰度变换功能基于如下设计意图:(1)在理论课教学中,通过教师对该教学软件的操作,调整 c 和 a ,或让学生实时修改源代码,让学生亲眼看到经灰度变换的图像及修改代码后的运行结果,增加学生学习的主动性和积极性,便于将透过现象看本质、精益求精的工匠精神,认真细致的处事态度,以及积极进行科研探究和创新精神等思政元素引入课堂教学中。(2)基于新医科背景,为实现“医工”、“医理”的融合和临床诊断医学图像后处理打下坚实的理工类基础,让学生操作后处理工作站时真正做到知其然知其所以然。

利用 VC++ 6.0 中的对话框(Dialog)类,静态文本框(Static Text)、滑动空间滑动控件(Slider)和编辑框控件(Edit Box)等获得线性灰度变化参数调整界面(图4),利用 Windows 消息函数 OnInitDialog 为线性灰度变换系数和亮度调节系数设置调节范围, c 和 a 可分别在 $(-1\sim5)$ 和 $(-200\sim280)$ 的范围之内调节。线性灰度变换系数和亮度调节系数范围设置核心源代码如下:

```
GrayCoefCtrl.SetRange(-10,50);
```



```
GrayCoefCtrl.SetPos(10);
GrayCoef=GrayCoefCtrl.GetPos()/10.0;
BrightCoefCtrl.SetRange(0,60);
BrightCoefCtrl.SetPos(25);
BrightCoef=(BrightCoefCtrl.GetPos()-25)<<3;
```

另外,线性灰度变换函数通过动态链接库的内层类插入,其中核心代码为:

```
for(n=0;n<nHeight;n++)
{for(k=0;k<nWidth;k++)
{Gonk=(ImgBufIn+3*k+n*nRBytes);
nGtnk=(int)(dbc*nGonk+na);
if(nGtnk>255) nGtnk=255;
if(nGtnk<0) nGtnk=0; }
```

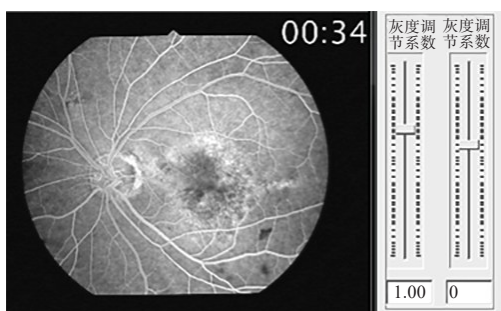


图4 线性灰度变化参数调整界面

Figure 4 Interface of parameter adjustment based on linear grayscale

当打开任意一幅 .bmp 图像时,调节线性灰度变换系数 c 和亮度调节系数 a ,可改变线性灰度变换的结果。实验结果如图 5 和图 6 所示。由图 5a~c 可知,当固定线性灰度变换系数 c 为 1.3 时,调节亮度调节系数 a 时, a 越大图像会越亮, a 越小图像越暗;由图 5d~f 可知,当固定亮度调节系数 a 为 255 时,调节线性灰度变换系数 c 时, c 越大图像会越亮, c 越小图像越暗。由图 5d 所示,当 $c=-1, a=255$ 时,即可实现临床 DR 后处理中常用到的图像黑白反转。由图 6a~c 可知,当线性灰度变换系数 c 为 1 时, a 越大图像越亮, a 越小图像越暗;由图 6d~f 可知,当亮度调节系数 a 为 0 时, c 越大图像会越亮, c 越小图像越暗。对比图 6a 和图 6d 虽然图像均变暗,但相比较于图 6d 中 $c=0.2, a=0$ 的线性变换图像而言,图 6a 中 $c=1, a=-72$ 的图像对比度更好。对比图 6c 和图 6f,虽然图像均变亮,相比较于图 6c 图中 $c=1, a=56$ 的线性变换图像而言,图 6f 图中 $c=1.2, a=0$ 图像对比度更好。

2.4 开窗显示

开窗显示是针对图像某一感兴趣灰度进行灰度扩展,其余部分进行灰度压缩的图像处理方法,CT 等成像设备在临床中用该方法显示图像^[26]。软件采用部分线性灰度变换的数学模型实现开窗显示功能,具体数学模型见式(2):

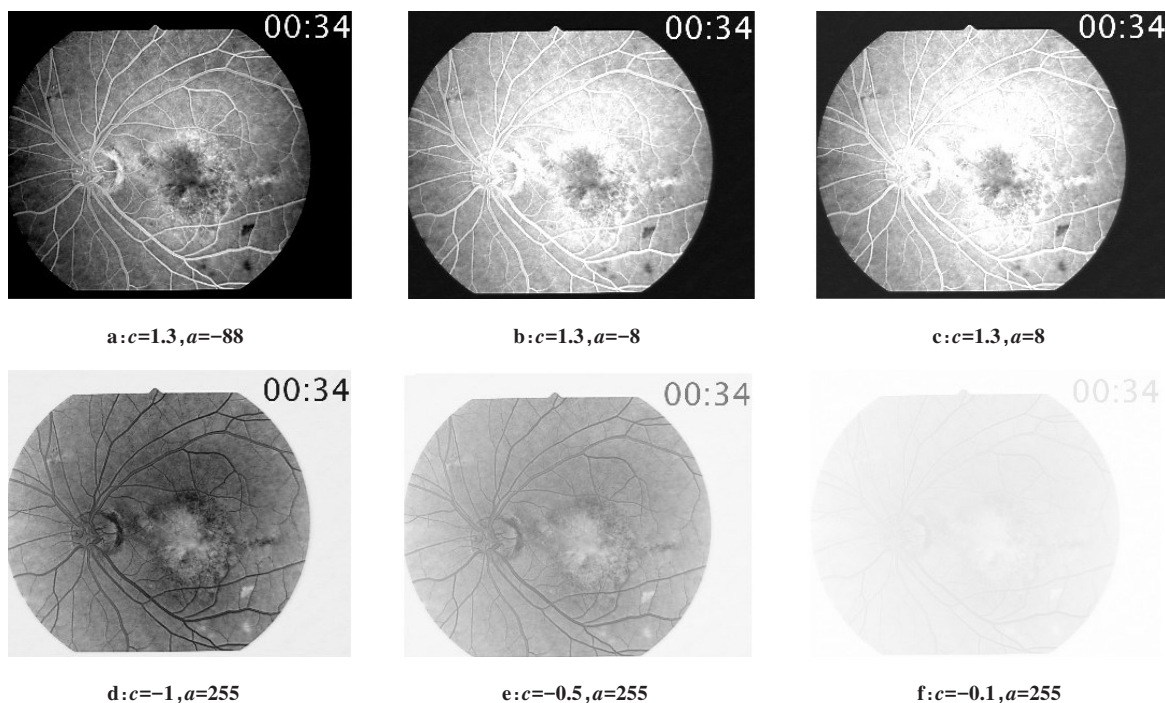


图5 不同 c 和 a 参数对图像亮度的影响

Figure 5 Effects of c and a on image brightness

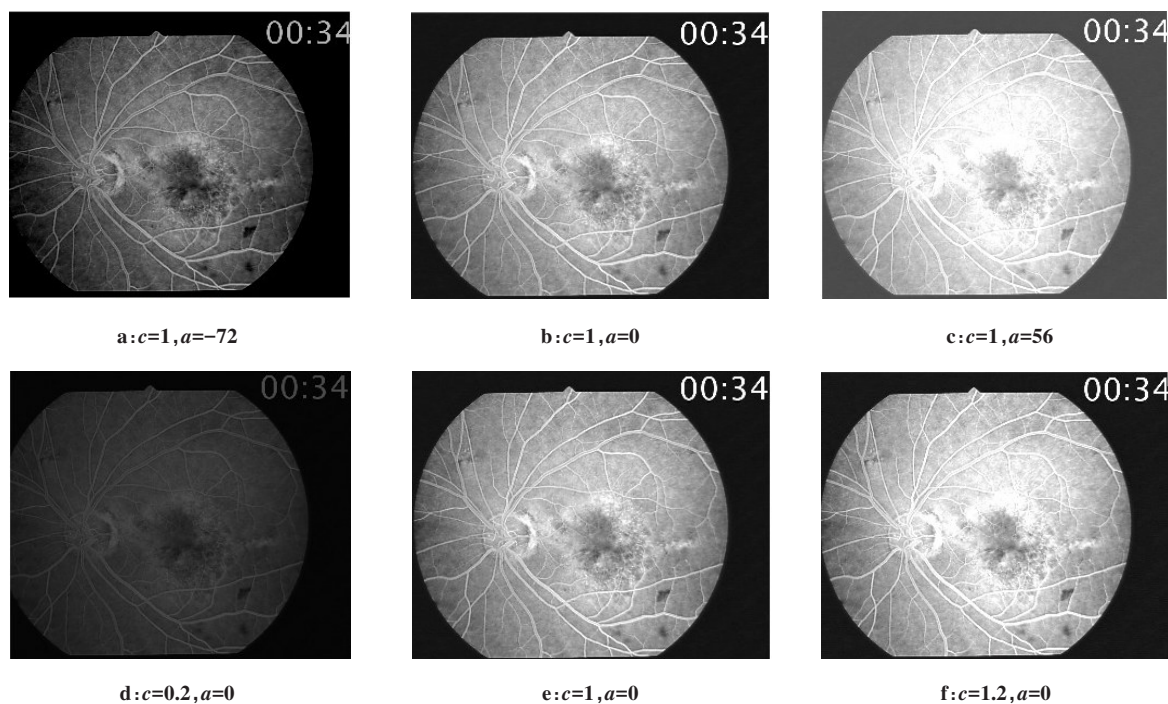


图6 不同c和a参数对图像对比度的影响
Figure 6 Effects of c and a on image contrast

$$G_w(n,k)=\begin{cases} 0, & G_o(n,k)\leq C_w-\frac{W_w}{2} \\ \frac{255(G_o(n,k)-C_w+\frac{W_w}{2})}{W_w}, & C_w-\frac{W_w}{2}<G_o(n,k)<C_w+\frac{W_w}{2} \\ 255, & G_o(n,k)\geq C_w+\frac{W_w}{2} \end{cases}$$

其中, $G_o(n,k)$ 表示原始图像 (n,k) 点的灰度值, $G_w(n,k)$ 表示开窗显示之后目标图像 (n,k) 点的灰度值, C_w 表示窗位, W_w 表示窗宽, 开窗显示结果受 C_w 和 W_w 的影响。开窗显示功能用于教学可实现: (1) 与线性灰度变换相同; (2) 对大量放射技师考试的模拟试题进行验证。

开窗显示功能的实现类似于线性灰度变换, 也是利用 VC++6.0 中的对话框类, 静态文本框 (Static Text)、滑动空间滑动控件 (Slider) 和编辑框控件 (Edit Box) 等获得如图 7 所示的线性灰度变化参数调整界面, 并利用 Windows 消息函数 OnInitDialog 为线窗宽和窗位设置了调节范围, 窗宽和窗位分别可在 (-1 024~4 096) 和 (0~5 120) 范围调节。开窗显示的窗宽、窗位范围设置核心源代码如下:

```
WCenterCtrl.SetRange(-16,64);
WCenterCtrl.SetPos(30);
WCenter=(WCenterCtrl.GetPos())<<6;
```

```
WWidthCtrl.SetRange(0,80);
WWidthCtrl.SetPos(5);
Width=( WWidthCtrl.GetPos())<<6;
```

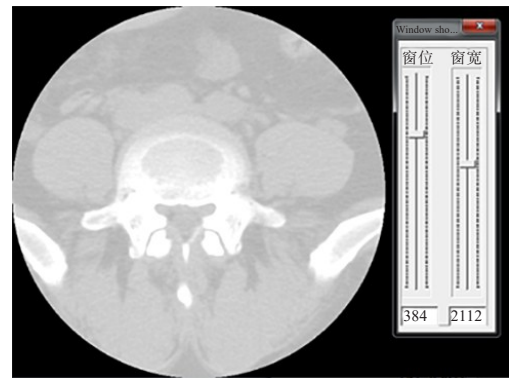


图7 开窗显示参数调整界面
Figure 7 Interface of parameter adjustment for windowing display

另外, 开窗显示函数也是通过动态链接库的内层类插入, 其中核心代码为:

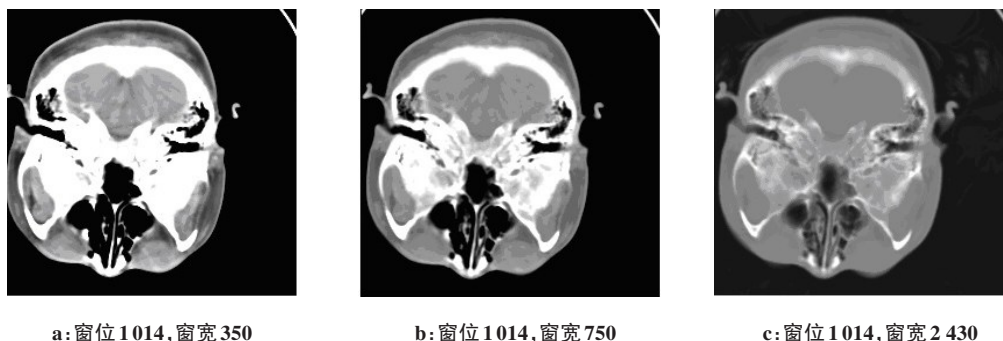
```
for(n=0;n<nHeight;n++)
{for(k=0;k<nWidth;k++)
{nGonk=*(pnImgBufIn+k*nWidth);
if(nGonk <=nLowVal) nGwnk=0;
else if(nGonk>=nHighVal) nGwnk=255;
else nGwnk= (int) ((nGonk-lowVal)*(255.0/
```

nWindowWidth));

*nRowBytes)=nGwnk; }}

当打开任意一幅.dcm图像时,调节窗位 C_w 和窗

宽 W_w ,可以改变开窗显示的显示结果。实验结果如图8和图9所示。



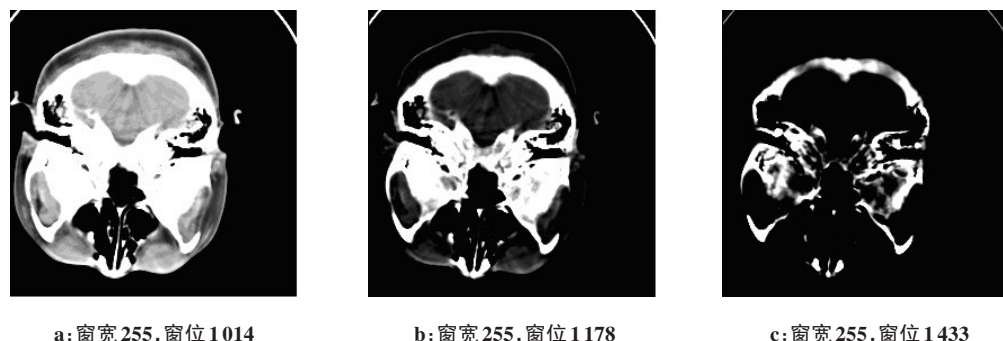
a:窗位 1014,窗宽 350

b:窗位 1014,窗宽 750

c:窗位 1014,窗宽 2 430

图8 固定窗位时,窗宽对开窗显示的影响

Figure 8 Effects of window width on windowing display when fixing window position



a:窗宽 255,窗位 1014

b:窗宽 255,窗位 1 178

c:窗宽 255,窗位 1 433

图9 固定窗宽时,窗位对开窗显示的影响

Figure 9 Effect of window position on windowing display when fixing window width

由图8可知,固定窗位 C_w ,调整窗宽 W_w 时, W_w 越大,压缩掉的灰度值越多,图像对比度越差。由图9可知,固定窗宽 W_w ,调整窗位 C_w 时, C_w 越小越亮, C_w 越大越暗。

3 结 论

针对包头医学院《医学图像处理》课程所面临的形势和教学现状,特开发与其教学过程高度契合的医学图像处理教学软件,该教学软件将应用于包头医学院《医学图像处理》课程的实验教学和理论教学中。(1)用于理论教学的教学模具:在理论课中,讲解图像处理方法数学模型推导、算法优缺点比较、参数作用分析、源代码讲解时,可用该软件直观演示,以实现不同算法对同一图像处理的对比,加深学生对课堂知识点的理解,便于将精益求精的工匠精神、认真细致的处事态度与风格、用积极或消极的思想看待事物的哲学观点、科研探究精神、创新精神等思政

元素引入课堂中,实现润物细无声的思政教育。(2)作为《医学图像处理》实验教学的实验器材,实验教学时,将软件存储在任何一台电脑上,学生通过操作该教学软件中的各种图像处理方法,调节与之相关的参数,分析图像发生变化的原因以及参数对图像处理结果的影响,实现实验教学对理论教学内容的验证和促进作用,提高课堂教学效果,强化学生对放射技师考点知识的理解,为《医学影像诊断学》、《医学影像检查技术》等后处理操作打下坚实基础,以实现“新医科”背景下医学影像技术专业“医工”、“医理”的深度交叉融合。

【参考文献】

- [1] 潘玉梅,张雪君,于春水,等.新时代下医学影像本科人才培养模式的改革与实践[J].医学教育管理,2018,4(4):272-275.
Pan YM, Zhang XJ, Yu CS, et al. Reform and practice of undergraduate training mode in medical imaging technology in the new era[J]. Medical Education Management, 2018, 4(4): 272-275.
- [2] 董晓军,管海辰,曾令容,等.应用型本科院校医学影像技术专业人

- 人才培养方案修订前后对比分析[J]. 教育教学论坛, 2021(39): 52-55.
- Dong XJ, Guan HC, Zeng LR, et al. Comparative analysis of before and after revision of talent cultivation program of medical imaging technology in applied undergraduate colleges and universities[J]. Education and Teaching Forum, 2021(39): 52-55.
- [3] 白列, 蔡芸, 蒋林. 基于区域划分的非局部均值图像去噪算法的改进[J]. 软件工程, 2023, 26(5): 1-5.
- Bai L, Cai Y, Jiang L. Improvement of non-local means image denoising algorithm based on region division [J]. Software Engineering, 2023, 26(5): 1-5.
- [4] 张蕾, 马慧芳. 自适应边缘相似度非局部均值图像去噪方法[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2021, 57(6): 50-56.
- Zhang L, Ma HF. An adaptive NLM algorithm based on edge similarity [J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2021, 57(6): 50-56.
- [5] 刘宇涵, 闫河, 陈早早, 等. 强噪声下自适应Canny算子边缘检测[J]. 光学精密工程, 2022, 30(3): 350-362.
- Liu YH, Yan H, Chen ZZ, et al. Adaptive Canny operator edge detection under strong noise [J]. Optics and Precision Engineering, 2022, 30(3): 350-362.
- [6] 张光玉, 何乐民. 数字医学影像处理[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
- Zhang GY, He LM. Digital medical image processing[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018.
- [7] 聂生东, 邱建峰, 郑建立. 医学图像处理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2010.
- Nie SD, Qiu JF, Zheng JL. Medical image processing[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2010.
- [8] Verma R, Pandey R. Grey relational analysis based adaptive smoothing parameter for non-local means image denoising [J]. Multimed Tools Appl, 2018, 77(19): 25919-25940.
- [9] 李恩中. 医学图像处理与分析软件平台综述[J]. 计算机科学与探索, 2008, 2(5): 467-477.
- Li EZ. Review of medical image processing and analyzing software platforms[J]. Journal of Frontiers of Computer Science & Technology, 2008, 2(5): 467-477.
- [10] 刘二林, 苏蕊, 王胜川. 交互医学图像处理平台的研制[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(7): 9-11.
- Liu EL, Su R, Wang SC. Development of interactive medical image processing platform[J]. Computer Knowledge and Technology, 2021, 17(7): 9-11.
- [11] 景柏杨, 焦雄. 基于MVT的医学图像处理平台设计与实现[J]. 软件导刊, 2022, 21(4): 45-50.
- Jing BY, Jiao X. Design and implementation of medical image processing platform based on MVT[J]. Software Guide, 2022, 21(4): 45-50.
- [12] 黄慧, 董林鹭, 何建华, 等. 强噪声下改进Canny算法的边缘检测[J]. 计算机技术与发展, 2021, 31(1): 83-87.
- Huang H, Dong LL, He JH, et al. Edge detection of an improved Canny algorithm under strong noise [J]. Computer Technology and Development, 2021, 31(1): 83-87.
- [13] 张玉芳, 关天民, 刘光孟, 等. 基于CT数据的医学图像处理系统设计[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(9): 1055-1062.
- Zhang YF, Guan TM, Liu GM, et al. Design of medical image processing system based on CT data [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(9): 1055-1062.
- [14] 侯艳阳. 基于OpenCV的医学图像处理软件设计与实现[J]. 无线互联科技, 2020, 17(7): 38-39.
- Hou YY. Designed and implementation of medical image processing software based on OpenCV [J]. Wireless Internet Technology, 2020, 17(7): 38-39.
- [15] 刘俊杰, 聂生东, 王远军. 基于CUDA的医学图像处理算法平台的设计与初步实现[J]. 中国医学物理学杂志, 2011, 28(5): 2872-2877.
- Liu JJ, Nie SD, Wang YJ. The design and realization of medical image processing algorithm platform based-on CUDA [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2011, 28(5): 2872-2877.
- [16] 云森, 吕永波. 基于图像处理的医学影像处理平台系统设计[J]. 中国保健营养, 2018, 28(1): 127.
- Yun S, Lü YB. Design of medical image processing platform system based on image processing [J]. China Healthcare & Nutrition, 2018, 28(1): 127.
- [17] 魏敏, 王松, 吴亚东. 医学图像可视化的视觉优化方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31(4): 659-667.
- Wei M, Wang S, Wu YD. Research on visual optimization method of medical image visualization [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2019, 31(4): 659-667.
- [18] 齐德明. 基于改进型的非局部均值滤波算法在医学图像处理中的研究与应用[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(9): 256-261.
- Qi DM. Application of medical image processing method based on improved non-local means filtering algorithm [J]. Computer Applications and Software, 2021, 38(9): 256-261.
- [19] 李长有, 陈国玺, 丁云晋. 改进Canny算子的边缘检测算法[J]. 小型微型计算机系统, 2020, 41(8): 1758-1762.
- Li CY, Chen GX, Ding YJ. Improved edge detection algorithm for Canny operator [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2020, 41(8): 1758-1762.
- [20] Yang Y, Zhang GG, Wang J, et al. Distributed representation for Neighborhood-Based collaborative filtering [C]//2017 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2017: 531-535.
- [21] 何春, 宋国琴, 郭科. 一种改进的非局部均值去噪算法[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2020, 41(4): 421-428.
- He C, Song GQ, Guo K. An improved non-local means denoising algorithm [J]. Journal of China West Normal University (Natural Sciences), 2020, 41(4): 421-428.
- [22] Dong WS, Wang PY, Yin WT, et al. Denoising prior driven deep neural network for image restoration [J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2019, 41(10): 2305-2318.
- [23] 骆鸣. 基于B/S架构的医学图像处理系统的设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
- Luo M. Design and implementation of medical image processing system based on B/S architecture [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2017.
- [24] 朱翔宇, 葛中芹, 张冰清, 等. 基于图像处理的医学影像处理平台系统设计[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(4): 388-392.
- Zhu XY, Ge ZQ, Zhang BQ, et al. Design of a medical image processing platform system based on image processing [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(4): 388-392.
- [25] 张玉征. 基于改进的非局部均值图像去噪算法研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2018.
- Zhang YZ. Research on improved non-local means image denoising algorithm [D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2018.
- [26] 张光玉, 鲁雯, 徐龙春, 等. DICOM格式医学图像显示方法研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(1): 32-38.
- Zhang GY, Lu W, Xu LC, et al. Display methods of medical images in DICOM format [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(1): 32-38.

(编辑: 薛泽玲)