

基于医学数字X线影像频谱特征的图像检索

马安然^{1,2}, 任宁宁^{1,2}, 韩立博^{1,2}, 孙勇¹, 绍岩^{1,3}, 邱建峰¹

1. 泰山医学院放射学院, 山东 泰安 271016; 2. 泰山医学院信息工程学院, 山东 泰安 271016; 3. 泰山医学院附属医院放射科, 山东 泰安 271000

【摘要】目的:针对数字X线影像的频率特征,提出基于频谱相似性比较的图像检索新方法。**方法:**通过数字X线影像分析,获得其频率分布和幅值特性,根据不同部位(摄影体位)影像频率特性差异明显的特点,对影像进行特征频率曲线的提取、分类和库构建。对任意输入的图像,进行基于库曲线的相似性比较,从而判断图像的摄影部位(摄影体位)。**结果:**采集影像科临床X线影像共计200幅,进行基于频率特征的曲线相似性判断检索,判定影像所属摄影部位。检索结果经临床医生进行主观判断,平均准确率93.78%,平均判断时间0.290 3 s。**结论:**该方法基于数字X线影像的频谱特征进行图像检索,首次分析不同部位在频率曲线上的特征性,将二维图像检索简化为一维曲线检索,大大缩短了检索时间,具有较高的准确率和鲁棒性。

【关键词】X线影像; 图像检索; 医学数字; 频谱; 分类

【中图分类号】R445.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)09-0933-06

Image retrieval based on medical digital X-ray spectrum characteristics

MA An-ran^{1,2}, REN Ning-ning^{1,2}, HAN Li-bo^{1,2}, SUN Yong¹, SHAO Yan^{1,3}, QIU Jian-feng¹

1. College of Radiology, Taishan Medical University, Tai'an 271016, China; 2. College of Information and Engineering, Taishan Medical University, Tai'an 271016, China; 3. Department of Radiology, Affiliated Hospital of Taishan Medical University, Tai'an 271000, China

Abstract: Objective: To propose a new image retrieval method based on the frequency similarity and the frequency characteristics. **Methods:** The frequency distribution and amplitude characteristics of digital X-ray images were obtained by analyzing digital X-ray images. According to the significant differences in frequency characteristics of different radiological positions, the frequency characteristic curves of images were extracted and classified, and the curves library was constructed. The radiological positions were identified by comparing the curves' similarity of any input image. **Results:** The radiological positions of 200 clinical X-ray images collected from the department of radiology were identified based on the similarity of frequency characteristic curve. The identified results were validated by the clinicians. The validated results showed that the average accuracy rate was 93.78%, and that average cost time was 0.290 3 s. **Conclusion:** The image retrieval based on spectrum characteristics of digital X-ray image is firstly applied to analyze the characteristics of frequency curve of different radiological positions, and to simplify the two-dimensional image retrieval to one-dimension curve retrieval, greatly reducing retrieval time, with higher accuracy and robustness.

Key words: X-ray image; image retrieval; medical digital; spectrum; classification

前言

随着医学成像技术、图像处理技术的发展,医学

影像分析越来越多地应用在疾病诊断、外科手术、放射治疗等方面^[1]。随之海量医学影像加入到医学信息数据库中,需要人们自动归类、检索和智能分析^[2]。如何快速精确地从大量数据库图像中找到目标影像并进行分析,是现在医学影像领域的重要研究课题^[3]。

传统的医学图像检索常采用模式识别和特征分析方法^[4-5],如基于特征点^[6-7]、灰度特征^[8-9]的匹配和检索方法;或通过对影像形状信息^[10-11]、组织纹

【收稿日期】2016-03-01

【基金项目】泰山医学院高层次基金(GCC003);磁共振成像与质量控制设备创新中心(ZD0101)

【作者简介】马安然,本科,主要研究方向:医学影像,E-mail: 18854885327@163.com

【通信作者】邱建峰,博士,副教授,主要研究方向:医学影像,E-mail: jfqu100@163.com

理^[12-13]、内容^[14]来分析检测图像相似性;也有基于链码^[15]、傅里叶描述子^[16-17]、不变距^[18]、中轴变换^[19]等轮廓特征提取方法,达到图像自动识别的目的。但是基于影像本身频率特性分类的图像检索方法,尚未见报道。本文从频域角度分析数字X线影像信息,把不同部位的影像频谱根据谱线相似性和幅值相似性进行图像检索,达到判断输入图像成像部位的目的^[20-21]。

1 方法

1.1 不同图像类型频率范围差异的比较

(1)数字X线影像与其他图像类型频率范围明显不同。数字X线影像由X线曝光,透射人体后,组织衰减后形成X线量子差异,并经探测器形成电信号差异,最终反映为图像对比度。数字X线影像在人体范围内,表现为与器官外形和主要组织形态相符的尺度轮廓;在人体范围外,表现为大片的低密度均匀空气背景。这些特征在频率域上表现为频域信息集中、低频分量极高。本文任意选取日常灰度影像、数字X线影像、CT/MR影像和灰度组织切片影像各10幅,分别采集其频率曲线并同类平均(图1)。比较可得,数字X线影像信息低频分量高于其他类型影像,谱线同其他类型影像具有明显差异。由于X线衰减特性,影像信息集中于整体频率范围2%内的低频范围。把空间域图像进行傅里叶变换转换成频率域图像,通过对频率域数字X线影像进行2%、98%频率段的频域分割,并分别对频域分割后的2%、98%频率段进行傅里叶反变换得到含有2%和98%频率信息的空间图像。通过比较可以得到,高于2%频率段的高频影像信息,几乎没有有价值的组织影像。

(2)X线摄影的规范性使不同影像(摄影体位)具有明显的频率差异和幅值差异。数字X线影像的拍

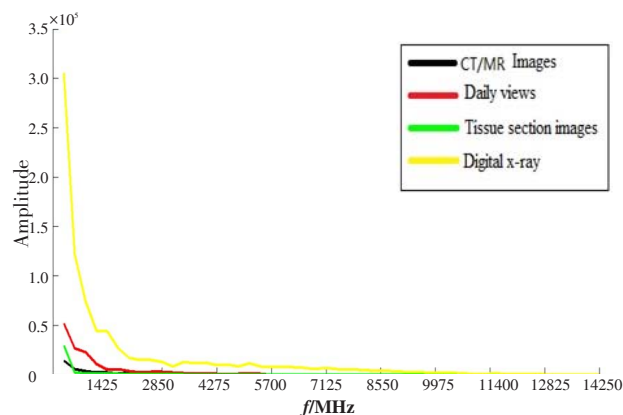


图1 10幅数字X线影像和其它类型影像的频率曲线比较

Fig.1 Comparison of frequency curve between 10 digital X-ray images and other types of images

摄具有一系列体位摆设要求和肢体覆盖范围要求。如胸部X线正位摄影,要求摄影距离150~180 cm,屏气,12×15英寸幅面,包含胸廓、肺部、膈肌,上缘超出锁骨2~6 cm,两侧腋部与边缘等距,下缘包括第十胸椎。这种摄影的规范性使每一类(部位)X线影像所包含的组织信息形态尺度近似,不同类之间差异明显。我们任意选取颅脑(头部)X线影像、肺部影像、腰椎影像(腹部)、骨盆影像、关节影像和四肢影像各10幅,进行2%频域谱线的截取,并同类平均。不同类别数字X线影像的频域曲线如图2所示。显然,不同类别的影像具有鲜明的类别特征,相互之间的谱线和幅值都具有较大差异。

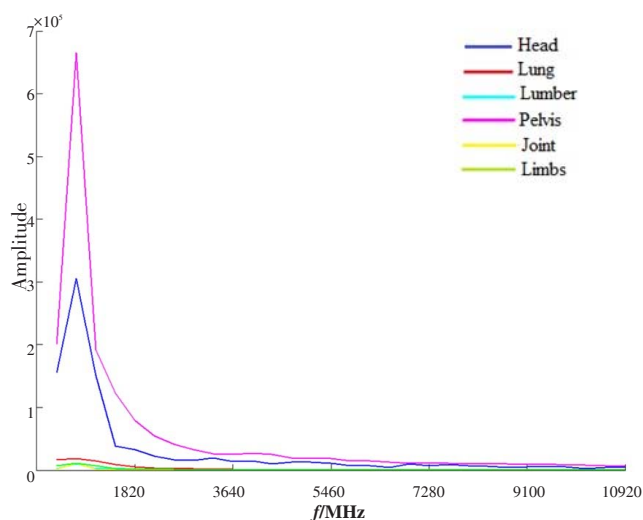


图2 不同类型数字X线影像的平均频域曲线比较

Fig.2 Comparison of average frequency curve of different types of digital X-ray images

(3)上述频率差异不受组织空间位置变化和X线曝光条件不同的影响。每幅X线影像都具有被拍摄者的个体特征,都是不同的。但这些个体特征相互之间的差异,在频域范围内并不明显。例如被拍摄者的健康状况和耐受程度不同,胸部X线影像组织的空间位置会有较大的差异(图3)。在基于特征点的图像检索方法中,同一组织空间位置较大的差异是需要重点研究的问题,也是难点所在。然而在频域中,由于组织类别未变,因此频域特性没有明显差异。图3中的lung(a)、lung(b)的频率曲线相似度仍在99%以上。

X线摄影严格要求曝光条件,即由X线kV和mAs值所决定的图像密度必须在一定范围内。然而由于不同成像设备的探测器差异,同类图像之间仍然存在密度(黑化度)的不同。基于灰度信息的图像检索方法,这种差异也会影响检索准确率。而在影像频率信息中,

不同的X线曝光条件差异仍然影响较小,分别使用40、50、70、80 kV拍摄体模的X线影像,所获得的图像和2%

频率段信息见图4。计算相似性可得,曲线与平均频域曲线的相似性均大于98%。

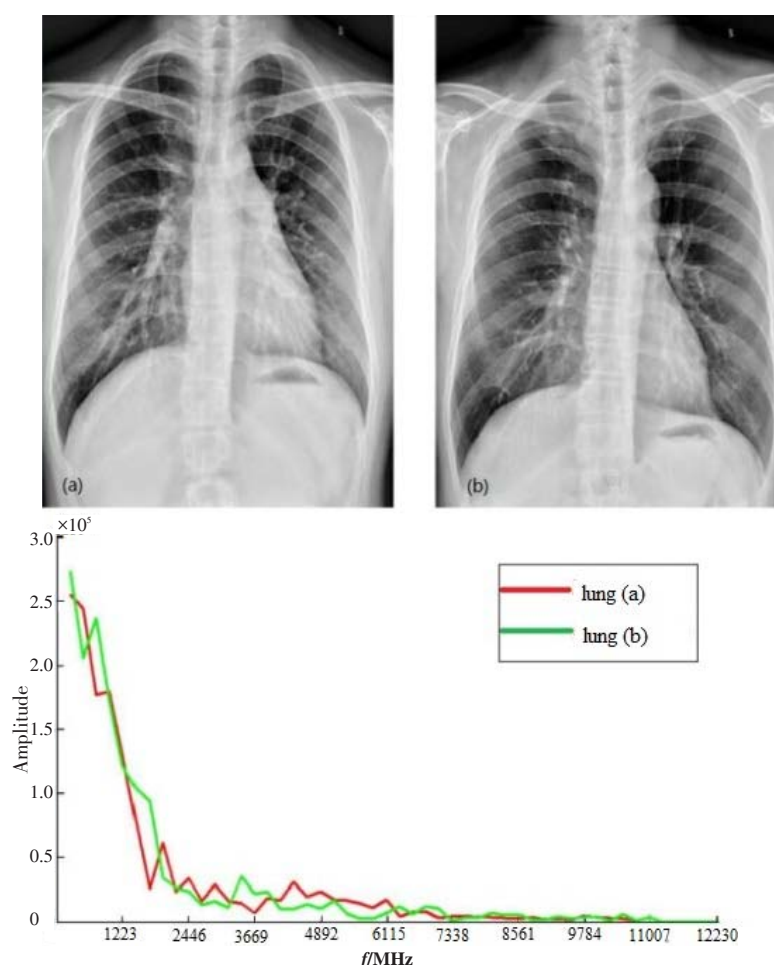


图3 不同个体的胸部数字X线影像频域曲线相似度

Fig.3 Similarity of frequency curve of thoracic digital X-ray images of different individuals

1.2 图像检索库构建

基于上述研究,本文任意选取临床图像60幅,含颅脑(头部)X线影像、肺(胸)部影像、腰椎影像(腹部)、骨盆影像、关节影像和四肢影像各10幅。首先转换为双精度浮点类型,再进行二维快速傅里叶变换(fft2),变换转至频率域:

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \times e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (1)$$

其中, $f(x,y)$ 代表一副用灰度值表示的大小为 $M \times N$ 的图像, $F(u,v)$ 是傅里叶频率谱。其次,截取图像整体频率曲线在0%~2%的频域谱部分,对不同尺度图像进行频域补足,并同类平均。分别获得6种类型图像的平均曲线,各自代表频域曲线类型。并把保留2%频域段的图像傅立叶反变换重建,留作库图像演示。

1.3 检索算法

将上述6种器官平均曲线设定为标准频率曲线,对于任意输入图像,傅立叶变换后截取2%频率段曲

线 $f(w)$,对6条标准频率曲线进行基于向量的曲线均值方差相似度的判断。

对输入图像曲线 $f(w)$ 和标准频率曲线库进行逐一的向量均值方差相似度和向量余弦相似度的计算。设输入图像 $f(w)$,对应幅值排列向量为 $[A1, A2, \dots, An]$;被遍历库曲线 $F(w)$,幅值为 $[B1, B2, \dots, Bn]$,二者均值方差相似度等于:

$$a = \text{sqrt}(\text{sum}((f(w) - F(w))^2) / \text{length}(f(w))) \quad (2)$$

二者夹角 θ 的余弦等于:

$$\cos \theta = \frac{\sum_{i=1}^n (f(w) F(w))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (f(w))^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (F(w))^2}} = \frac{f(w) F(w)}{|f(w)| |F(w)|} \quad (3)$$

均值方差相似度的值越小,相似度越大。余弦值越接近1,就表明夹角越接近0°,相似性最大。对于匹配6条曲线分别得到6个均值方差 a ,然后进行冒泡排序,最小的 a 值对应的器官则为源图像对应的

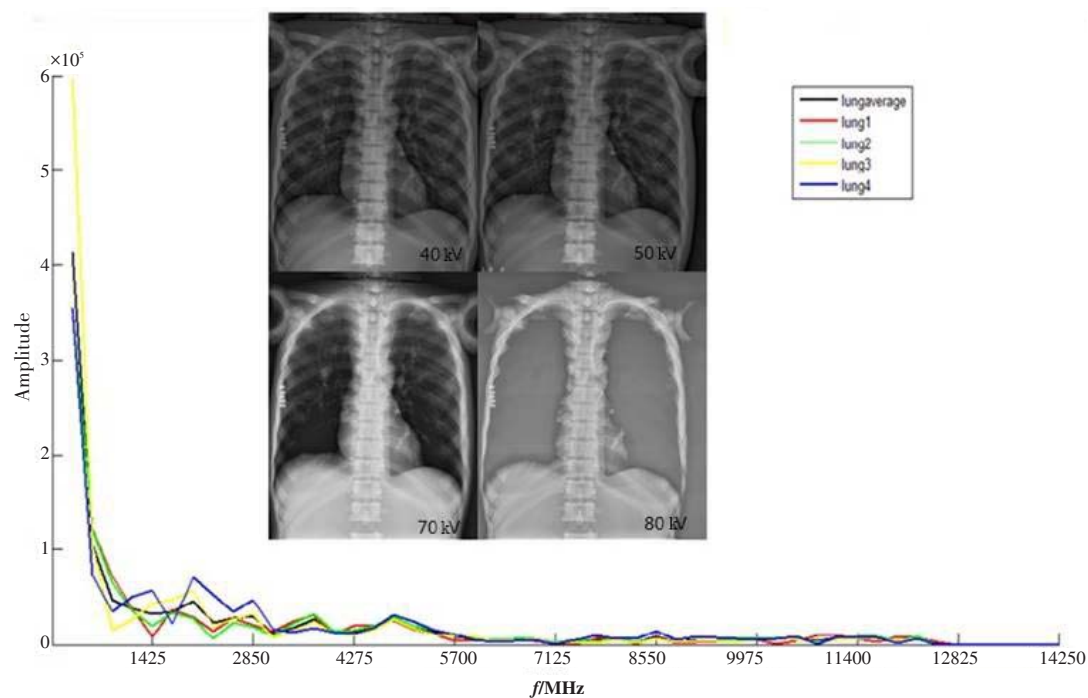


图4 不同曝光程度的肺部影像、各自3.4%频率曲线以及平均波形曲线

Fig.4 Lung images with different levels of exposure, individual 3.4% frequency curve and average wave form curve

器官。倘若前两名 a 值比较接近,则分别比较源图像的波形曲线和前两名 a 值 $\cos \theta$ 对应器官的波形曲线

的的余弦相似度 $\cos \theta$,最接近的则为源图像对应的器官。方法流程如图5所示。

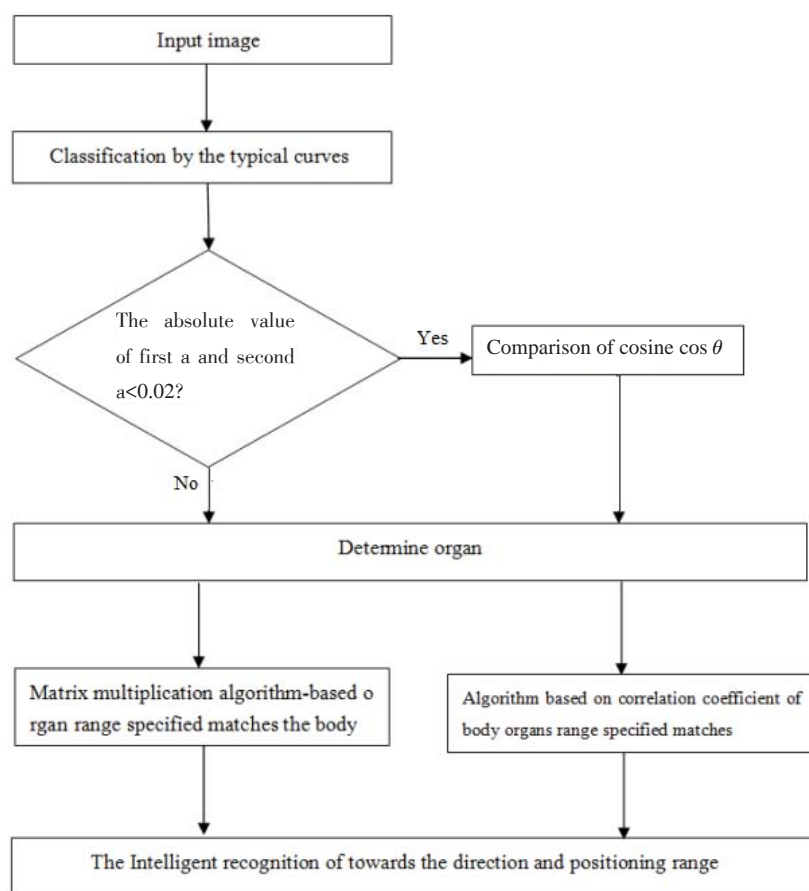


图5 方法流程图

Fig.5 Flow chart of proposed method

1.4 用于比较的灰度直方图检索

数字医学X线影像原始DICOM数据,常用灰阶范围为[0 65 535],灰度直方图即灰度值的函数图像,描述的是图像中具有该灰度值的像素个数,横坐标表示像素的灰度级别,纵坐标表示灰度出现的频率(像素的个数)。进行显示时,根据摄影部位选择对应窗口技术转换灰阶。绘制直方图的时候可能会因为某一灰度的像素较多,而不利于其他像素的观察。例如:如果某一灰度的像素较多(假设白色灰度255,达到10 000个占了90%),而其他灰度的计数相对过少,那么只能看到灰度值为255附近的几个灰度的分布。本方法输入图像摄影体位和类型未知,计算余弦相似度灰度直方图灰阶范围的取值采用分区方法。以5的灰阶差进行灰阶范围压缩,提高运算速度。

对分区后的直方图,采用基于数学向量的方法对图像相似度进行判断。构建一个60幅包含各种常规体位(含颅脑(头部)X线影像、肺(胸)部影像、腰椎影像(腹部)、骨盆影像、关节影像和四肢影像各10幅)的数字X线影像库,相似度判断时自动加入输入图像。对输入图像和库进行逐一的向量余弦相似度计算,求得灰度直方图的相关性。设输入图像为 A ,对应像素排列向量为 $[A_1, A_2, \dots, A_n]$;库中被遍历图

像为 B ,像素排列向量为 $[B_1, B_2, \dots, B_n]$,则 A 、 B 夹角 θ 的余弦等于:

$$\cos \theta = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i B_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i)^2}} = \frac{AB}{|A||B|} \quad (4)$$

不同向量夹角余弦计算采用向量补齐方式比较。余弦值越接近1,就表明夹角越接近 0° ,两个向量越相似,表明 A 、 B 相似性最大。

2 结果

本文采集200幅临床X线影像,影像来源于泰山医学院附属医院影像科2015年8月临床采集,进行基于上述方法的图像检索。判定结果同时经过临床医生进行验证,核定判定准确性。最终所得平均判定时间和判定结果正确率如表1所示。为了进行比较,同时使用常用的直方图相似性检索法,用于比较分析。

由表可知,基于标准频率曲线图像库检索,能够有效地改进以往算法的检索能力,准确率符合我们的预期。该方法将二维图像相似度简化为一维曲线相似度比较,不必对图像库中的图像一一进行特征向量的相似度比较,大大缩短了检索时间。该方法在大数据图像库检索中更能体现其速度快的优势。

表1 频谱曲线检索的准确率和时间统计

Tab.1 Accuracy of spectrum curve retrieval and time statistics

Organ	Histogram similarity method		Proposed method	
	Accuracy/%	t/s	Accuracy/%	t/s
Head	50.0	50.0	100.0	0.280 8
Lung	45.6	45.6	100.0	0.291 8
Lumber	40.5	36.6	100.0	0.293 4
Pelvis	41.2	41.2	66.7	0.291 9
Knee	27.3	27.3	100.0	0.290 3
Feet	56.6	40.2	96.0	0.293 6
Average	43.5	39.6	93.8	0.290 3

3 讨论和结论

本文探讨了数字X线影像不同摄影部位图像间的频域特征和分类,并创造性地将这种分类应用于医学图像检索研究。通过使用频率分类方法,图像检索的复杂度由二维图像匹配检索简化为频率段2%范围(60个离散点内)的一维频率曲线相似性比较。检索速度得以提高,检索准确率也高于其他图像匹配研究。

以往的基于灰度或形态学特征的提取算法,曝光环境、物体尺度和空间位置变化都会对检索准确率造成影响,导致判断错误。本文方法可以有效地解决上述问题对结果的影响。基于数字X线影像组织尺度的相似性和摄影的规范性,使得上述影响大大降低。尽管这种特殊性仅存在于数字X线影像,但对其他模态的医学影像分析具有借鉴意义,如CT和MR影像。同时,有助于在影像大数据分析中,简单

快速地分类不同模态、尺度的医学影像。

图4的4张不同曝光程度的肺图像分析,每幅影像2%频域波形与平均波形曲线的相似度分别是98.9%、99.2%、99.1%、98.5%,说明对于曝光程度一定差异的图像,基于频谱特征提取的图像库检索结果不会受到影响,证明了本文算法的适用图像范围的广泛性和实用性。

以往的检索系统对图像库中的每一幅图像进行特征提取,构建一个特征库,每幅图像对应特征库中的一个特征矢量。本文的图像库由多种组织平均曲线构成,每种组织由每类图像对应的频率曲线平均构成,只要将任意输入图像频率曲线同标准频率曲线库的相似性进行比较,即可得到对输入图像的类型判断。这样将运算复杂度降低了近一个量级,即增加了图像库的说服力,也大大减少了检索时间。对于云处理时代的海量影像数据处理,方法的优势就更加突出。

医学X线影像频率范围很广,但有效频率范围有限,经过实验研究,仅对2%的频率段进行相似性比较分析,则可以判断影像类型。这样可以将图像的高频无效信息的频率分量滤除掉,降低了噪声的影响,同时又很好地保留了边缘信息。影像的2%频率信息内,由于组织的不同,在不同的频率段也仍然存在极强的类型特征。在后续的研究中,笔者拟针对这一问题分析不同频率段的检索方法,优化检索步骤。

【参考文献】

- [1] 朱红斌. 综合颜色和纹理及SVM相关反馈的图像检索[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(5): 183-185.
ZHU H B. Image retrieval based on SVM relevance feedback using color and texture feature [J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(5): 183-185.
- [2] 崔江涛, 孙君顶, 付少锋, 等. 二次式距离上基于SVD的高维图像索引方法[J]. 中国图像图形学报, 2006, 11(4): 498-503.
CUI J T, SUN J D, FU S F, et al. Efficient high-dimensional image indexing based on SVD for quadratic form distance [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(4): 498-503.
- [3] 谭晓阳, 孙正兴, 张福炎. 交互式图像检索中的相关反馈技术研究进展[J]. 南京大学学报, 2004, 40(5): 639-648.
TAN X Y, SUN Z X, ZHANG F Y. Relevance feedback in content-based image retrieval: the state of the art [J]. Journal of Nanjing University, 2004, 40(5): 639-648.
- [4] KEKRE H B, THEPADE S, SANAS S. Improving performance of multileveled BTC based CBIR using sundry color spaces [J]. Int J of Image Process, 2010, 4(6): 620-630.
- [5] 蒋世忠, 易法令, 糖浪平, 等. 基于图割与粗糙集的MRI脑部肿瘤图像检索方法[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(17): 3085-3089.
- JIANG S Z, YI F L, TANG L P, et al. Brain tumor image retrieval method based on graph cuts and rough sets [J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tussue Engineering Research, 2010, 14(17): 3085-3089.
- [6] LI H, HUANG X, HUANG J, et al. Feature matching with affine-function transformation models [J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2014, 36(12): 2407-2422.
- [7] MOUSAVI KAHAKI S M, NORDIN M J, ASHTARI A H, et al. Invariant feature matching for image registration application based on new dissimilarity of spatial features [J]. PLoS One, 2016, 11(3): e0149710.
- [8] JING X, ZOU J, YAN W. Gradation processing algorithm of digital radiological chest image [J]. J Digit Imaging, 2001, 14(2 Suppl 1): 205-207.
- [9] DANG Y, LAN X, ZHANG Q, et al. Analysis of grayscale characteristics in images of labeled microtubules from cultured cardiac myocytes [J]. Microsc Microanal, 2015, 21(2): 334-342.
- [10] OKADA T, LINGURARU M G, HORI M, et al. Abdominal multi-organ segmentation from CT images using conditional shape-location and unsupervised intensity priors [J]. Med Image Anal, 2015, 26(1): 1-18.
- [11] XU J, FARUQUE J, BEAULIEU C F, et al. A comprehensive descriptor of shape: method and application to content-based retrieval of similar appearing lesions in medical images [J]. J Digit Imaging, 2012, 25(1): 121-128.
- [12] ERGEN B, BAYKARA M. Texture based feature extraction methods for content based medical image retrieval systems [J]. Biomed Mater Eng, 2014, 24(6): 3055-3062.
- [13] LERSKI R A, STRAUGHAN K, SCHAD L R, et al. MR image texture analysis: an approach to tissue characterization [J]. Magn Reson Imaging, 1993, 11(6): 873-887.
- [14] KUMAR A, DYER S, KIM J, et al. Adapting content-based image retrieval techniques for the semantic annotation of medical images [J]. Comput Med Imaging Graph, 2016, 49: 37-45.
- [15] FREEMAN F H. On the encoding of arbitrary geometric configurations [J]. IRE Trans Electron Comput, 1961, 10: 260-268.
- [16] SHAWEEESH A I, DWAIRI Z N, SHAMKHEY H D. Studying the relationships between the outlines of the face, maxillary central incisor, and maxillary arch in Jordanian adults by using fourier analysis [J]. J Prosthet Dent, 2015, 113(3): 198-204.
- [17] GANG G J, LEE J, STAYMAN J W, et al. Analysis of fourier-domain task-based detectability index in tomosynthesis and cone-beam CT in relation to human observer performance [J]. Med Phys, 2011, 38(4): 1754-1768.
- [18] DUDANI S A. Aircraft identification by moment invariants [J]. IEEE Trans Comput, 1977, 21: 39-46.
- [19] LEE D T. Medial axis transformation of a planar shape [J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 1982, 4(4): 363-369.
- [20] SIBAI M, VEILLEUX I, ELLIOTT J T, et al. Quantitative spatial frequency fluorescence imaging in the sub-diffusive domain for image-guided glioma resection [J]. Biomed Opt Express, 2015, 6(12): 4923-4933.
- [21] GRIMM L J, ANDERSON A L, BAKER J A, et al. Frequency of malignancy and imaging characteristics of probably benign lesions seen at breast MRI [J]. AJR Am J Roentgenol, 2015, 205(2): 442-447.

(编辑:陈丽霞)