

基于梯度方向信息的医学图像质量评价方法研究

郭 龙¹ 郑 剑²

(浙江大学数字化医疗工程研究中心 杭州 310027)¹

(上海海事大学航运仿真技术教育部工程研究中心 上海 200135)²

摘 要 研究医学图像质量的评价方法,提高评价方法的可靠性。医学图像是由计算机使用数学方法重建得到的,其独特的成像特点对图像质量评价的要求很高。由于在图像成像过程中不可避免会受到噪声等影响,使得图像存在不均匀或失真等,传统的医学图像质量评价方法只是采用信噪比对图像的质量进行评价,对失真图像评价的可靠性不高。为提高评价方法的可靠性,提出基于梯度方向信息的医学图像质量评价方法。它不仅考虑图像信噪比,而且结合像素点间的相关性和人类视觉感知特性,计算出梯度方向信息作为评价指标,能够避免传统方法对失真图像评价可靠性不高的问题。实验表明,这种方法能够真实反映图像的视觉感知质量,具有较高的评价可靠性。

关键词 医学图像,质量评价,梯度方向

中图法分类号 TP395 **文献标识码** A

Research on Medical Image Quality Evaluation Method Based on Gradient Direction Information

GUO Long¹ ZHENG Jian²

(Healthcare Informatics Engineering Research Center, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)¹

(Engineering Research Center of Simulation Technology, Ministry of Education, Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China)²

Abstract This paper studied the evaluation methods of medical image quality to improve their reliability. Medical images are obtained through using mathematical method to reconstruct them by compute, so the reliability of distortion image evaluation only very high, because the image during the process of imaging will be inevitably influenced by noise, making image being not uniform or distortion. The traditional medical image quality evaluation method only uses noise ratio to evaluate image quality, so the reliability of evaluation for image distortion is not high. To evaluate image quality, this paper put forward a gradient direction based evaluation method of medical image quality. It not only considers the image signal-to-noise ratio, but also combines the correlation of the pixels and human visual perception characteristics. It calculates gradient direction information used as the evaluation index, and can avoid the problem that evaluation reliability of the traditional method is not high to distortion image. The experiments show that the method can reflect the true image quality of visual perception, has high reliability evaluation.

Keywords Medical image, Quality evaluation, Gradient direction

1 引言

近年来,由于医学图像的直观准确的特点,其已成为医学治疗和诊断中的关键环节。医学图像的成像技术与一般的图像不同,其成像过程是通过计算机根据成像装置(或影像设备)采集到的人体内部生理学、心理学、解剖学信息数据,使用某种数学方法重建得到的^[1],因其独特的成像技术,且在数据采集过程中或图像重建中难免会受到噪声的干扰而影响成像的质量,因此医学图像的质量评价成为了必要。医学图像直接用于临床,为医生诊断病情提高依据,因此对医学图像质量的要求非常高。为保证医学图像的质量,避免医疗事故的发生,研究者们一直致力于寻找可靠性较高的医学图像评价方

法。

医学图像的质量包括图像的逼真度和可懂度^[2]两个方面,图像的逼真度越高、可懂度越大,则图像的质量就越高。传统的医学图像评价方法使用图像信噪比作为评价的指标,根据计算得到的图像信噪比评价图像是否受噪声干扰,从逼真度方面对图像质量做出可靠评价^[3],但是当医学图像受噪声干扰而出现失真时,其图像的逼真度变化不大但可懂度降低,从而影响图像质量。传统的仅依靠信噪比进行评价的方法不能准确评价失真图像,造成医学图像评价的可靠性不高的问题。

为提高医学图像评价的可靠性,提出基于梯度方向信息的医学图像质量评价方法。这种评价方法不仅要考虑图像信

到稿日期:2012-02-10 返修日期:2012-07-23 本文受国家自然科学基金项目(51149001),上海市教育委员会科研创新项目(11CX49)资助。

郭 龙(1988—),男,硕士生,主要研究方向为医疗信息化,E-mail:guolong301@163.com;郑 剑(1987—),男,博士,主要研究方向为船舶运行品质及载荷检测研究。

噪比,而且要结合像素点间的相关性和人类视觉感知特性,通过计算梯度方向信息作为评价指标,能够避免传统方法对失真图像评价可靠性不高的问题,真实反映图像的视觉感知质量,保证评价的可靠性。

2 医学图像质量评价原理

医学图像是通过影像装置采集病人身体内部的病理学、心理学和解剖学等数据信息,并利用这些数据采用重建技术重构可视化医学图像的科学。因为它直观准确的特性,使之成为医学诊断和治疗中的关键技术,并且随着其广泛应用,医学图像质量的评价也成为了人们研究的重点问题。医学图像作为诊断的依据,其图像的质量非常重要,图像中极小的细节错误都有可能致误诊^[4]。因此对医学图像的质量进行准确评价是非常必要的,且因其应用领域的特殊性,对医学图像质量的评价可靠性要求很高。

医学图像质量包括逼真度和可懂度两个方面的内容。医学图像的逼真度表示的是医学图像与实际情况的接近程度,逼真度越高,说明医学图像与实际情况的接近程度越高。医学图像在重建过程中受外界干扰影响常会造成逼真度的降低,因而通过检测图像的噪声干扰等影响就可确定图像的逼真度。医学图像的可懂度是指医学图像被人们视觉看懂的程度,与图像的层次丰富度、清晰度、突出性等特性有关^[5]。这个指标不仅与医学图像本身有关,而且与人眼视觉特性有关。医学图像的逼真度和可懂度能够准确反映图像的可靠程度,因此常作为医学图像质量的评价指标。医学图像质量评价的一般流程为,设定并选取能够反映图像质量的特征,将待评价的医学图像进行各种提取特征参数的计算,根据计算得到的特征参数对图像的质量进行评价,得到最终的评价结果以辅助医疗诊断。

医学图像基于数据重建图像的特点,在获取数据和图像重建过程中极易受到外界环境的干扰,会造成重建的医学图像出现不均匀或失真的问题。医学图像的不均匀比较容易检测,而医学图像的失真与人类视觉特性有关,不易被检测出来^[6]。传统的医学图像质量评价方法选用医学图像的信噪比特征作为图像质量评价指标,对图像 $I=f(i,j)$ 计算信噪比特征的公式为:

$$SNR=10\log_{10}\frac{L^2}{MSE} \quad (1)$$

$$MSE=\frac{\sum_{i=1}^M\sum_{j=1}^N(f_{ij}-f_{ij}^0)^2}{MN}$$

式中,SNR 就是计算得到的医学图像信噪比参数,根据此参数按照评价标准进行质量评价。医学图像评价标准如表 1 所列。

表 1 医学图像质量评价标准

级别	图像质量	指标范围(SNR)
1	最好	≤ 0.01
2	较好	$[0.01,0.3]$
3	一般	$[0.3,0.49]$
4	较差	$[0.5,0.69]$
5	最差	$[0.7,1]$

由传统方法评价指标信噪比特征计算公式可以看出,这种方法只考虑图像像素受外界干扰影响而存在不均匀的程度

来评价图像的质量,虽然能对医学图像受噪声干扰产生的不均匀问题进行检测并评价,但是对于失真的医学图像,不能有效结合人眼视觉特性对失真图像准确评价,最终造成对医学图像质量评价可靠性不高的问题。

因医学图像的特殊形成特点和独特的应用要求,传统的医学图像质量评价方法显然不能满足医学诊断对医学图像质量评价可靠性的要求。为解决这一难题,综合考虑医学图像的特殊性,并研究人眼的视觉特性,结合图像中的视觉信息重新设定图像质量评价的指标,以保证对失真图像的准确评价,提出基于梯度方向信息的医学图像质量评价方法。这种评价方法不仅要考虑图像信噪比,而且其要结合像素点间的相关性和人类视觉感知特性,通过计算梯度方向信息作为评价指标,避免传统方法对失真图像评价可靠性不高的问题。

3 基于梯度方向信息的医学图像质量评价

由于医学图像的质量取决于逼真度和可懂度两个方面,因此医学图像的视觉特性就不能忽略,而且要参与图像质量的评价以期提高医学图像质量评价的可靠性。通过研究人类视觉系统,阅读大量人类视觉系统研究文献可知,人类视觉系统对图像的感知分为边缘感知、纹理感知和平坦区域感知 3 个部分,其中边缘部分的感知在人类视觉系统中起决定性作用,因此可以通过分析医学图像的边缘特性来表征图像的可视化视觉特性,也即医学图像的可懂度特性。大量研究表明,图像边缘信息的最优表示方法为梯度方向信息,通过计算医学图像的梯度大小和方向能够准确反映医学图像的可懂度。

3.1 梯度方向信息的提取

根据人眼视觉特性可知,人眼对医学图像的感知主要是图像边缘、图像纹理和图像平坦区这 3 个分类部分,其中的图像边缘最容易引起人们视觉的注意,也即医学图像的边缘特性直接影响图像的可懂度。要研究医学图像的边缘特性,选用能够有效表征图像边缘特性的梯度方向信息进行表示。医学图像的梯度方向信息能够反映图像边缘纹理信息,对图像中较小的变化能够有效捕获,且其大小能够反映图像的清晰度和可懂度,即梯度方向向量的值越大,表明图像边缘越清晰、更易懂。

设用 M 表示医学图像中的每一个像素点,像素点的梯度方向就是在此像素点 M 处像素梯度变化最大的方向,并且这个变化率的数值就是此像素点梯度方向向量的模值。设定用 $f_g(x,y)$ 代表梯度方向向量的具体方向,用 $f_m(x,y)$ 代表梯度方向向量的模值大小。梯度方向向量的大小是标量,其值始终都为正。对于一幅医学图像,提取其梯度方向信息,具体的梯度大小提取公式为:

$$f_m(x,y)=\sqrt{f_x^2(x,y)+f_y^2(x,y)} \quad (2)$$

医学图像的梯度方向信息的方向提取公式为:

$$f_g(x,y)=\arctan\frac{f_y(x,y)}{f_x(x,y)} \quad (3)$$

式中, $f(x,y)$ 代表的是图像中的像素, $f_x(x,y)$ 为此像素点在 x 方向的像素差, $f_y(x,y)$ 为此像素点在 y 方向的像素差。

3.2 基于梯度方向信息的质量评价

医学图像梯度方向信息的提取只是对图像进行的初步处理,下面需要利用图像的梯度算子查找图像的边缘信息。为

了保证提取的效果,有效避免噪声的干扰,选取性能较优的 Sobel 算子。Sobel 算子的具体模板为:

$$S_V = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, S_H = S_V^T \quad (4)$$

由于人眼在观察时对水平和垂直两个方向上的细节变化比其他区域都更加敏感,因此采用 Sobel 算子对医学图像进行梯度的水平和垂直方向的计算。按照 Sobel 算子,利用上文的图像梯度方向向量的大小和方向提取公式计算得到图像中所有像素点的梯度信息,这些梯度信息分别以矩阵的形式存放在梯度大小矩阵 T^m 和梯度方向矩阵 T^ϕ 中。为构建医学图像质量评价模型,需要预先定义:

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1} \quad (5)$$

$$c(x^m, y^m) = \frac{2\sigma_{x^m}\sigma_{y^m} + c_2}{\sigma_{x^m}^2 + \sigma_{y^m}^2 + c_2} \quad (6)$$

$$s(x^\phi, y^\phi) = \frac{\sigma_{x^\phi y^\phi} + c_3}{\sigma_{x^\phi}^2 + \sigma_{y^\phi}^2 + c_3} \quad (7)$$

$$\sigma_{x^\phi y^\phi} = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j^\phi - \mu_{x^\phi})(y_j^\phi - \mu_{y^\phi}) \quad (8)$$

式中, $Y(y)$ 表示标准参考图像的信息, $\sigma_{x^\phi}, \sigma_{y^\phi}, \sigma_{x^m}, \sigma_{y^m}$ 分别表示梯度方向信息的防线矩阵和大小矩阵的方差, $\sigma_{x^\phi y^\phi}, \sigma_{x^m y^m}$ 分别是梯度方向信息的方向矩阵协方差和大小矩阵协方差。根据这些数据信息,提出基于梯度方向信息的医学图像质量评价模型为:

$$TSM_{xy} = \alpha l(x, y) + \beta c(x^m, y^m) + \gamma s(x^\phi, y^\phi) \quad (9)$$

式中, α, β, γ 都是大于零的参数,并且满足 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。可以通过调整这 3 个参数的值来协调模型数据。

由最终的医学图像质量评价模型可知,这种方法避免了只对图像的信噪比计算图像质量,而是在评价模型中加入了与医学图像特征和人眼视觉特性有关的图像梯度方向信息作为评价的参量,按照人眼视觉规律特性确定医学图像质量的评价模型,最终得到可靠性较高的评价结果。

4 仿真实验及结果分析

医学图像质量的评价方法中,最原始的人工直观地评价结果最为可靠,但是由于此方法耗费人力和时间,不符合现代社会发展对医学图像质量评价效率的要求,因此人工主观评价方法在实际应用中不太常用。随着计算机技术和图像处理技术的飞速发展,基于计算机处理技术的医学图像质量评价方法被越来越多地应用,然而由于实际应用的限制和图像处理技术固有的问题,这些方法存在图像质量评价可靠性不理想的缺陷,而原始的人工主观对医学图像质量的评价结果可靠性最高,因此常选用主观结果来对比检验现在的医学图像质量评价方法的可靠性能。由此可知,医学图像质量评价方法的可靠性计算公式为:

$$\text{可靠性 } P = \frac{\text{正确评价的次数 } m}{\text{待评价的图像总数目 } M} \quad (10)$$

由上式可知,医学图像质量评价的可靠性的值就是统计的正确评价的次数与总的待评价医学图像数目的比值。

由传统的医学图像质量评价的标准设定基于梯度方向信息的医学图像质量评价的标准,具体如表 2 所列。

表 2 基于梯度的医学图像质量评价标准

级别	图像质量	指标范围(TSMO)
1	最好	[0.01, 0.07]
2	较好	[0.07, 0.13]
3	一般	[0.13, 0.39]
4	较差	[0.39, 0.59]
5	最差	[0.59, 0.70]

选取 150 张(其中包含 60 张失真图像)医学图像进行仿真实验,事先采用原始的人工主观评价的方法得到所有医学图像的评价结果,并以此为依据。然后采用 Visual C++6.0 软件分别编程实现传统的基于信噪比的方法和基于梯度方向信息的方法,将待评价的 150 张图像分别采用传统方法和提出的新方法完成图像质量的评价,并记录实验结果数据,根据可靠性的计算公式得到两种方法的可靠性,将实验结果数据列表比较,如表 3 所列。

表 3 实验结果对比表

评价方法	正确评价数(幅)	可靠性
基于信噪比	14/60 113/150	75.3%
基于梯度	52/60 141/150	94%

由上述实验结果分析可知,传统的仅依靠信噪比进行评价的方法不能准确评价失真图像,造成医学图像评价的可靠性不高的问题。由表 3 的实验数据可知,对 150 幅医学图像进行质量评价,只有 113 幅是正确评价的,其中对 60 幅失真图像正确评价的幅数仅为 14 幅,可见传统方法不能有效评价失真的医学图像,造成其可靠性仅为 75.3%。而提出的基于梯度方向信息的医学图像质量评价方法,不仅要考虑图像信噪比,而且要结合像素点间的相关性和人类视觉感知特性,通过计算梯度方向信息作为评价指标,能够避免传统方法对失真图像评价可靠性不高的问题,对 150 幅医学图像进行质量评价,有 141 幅是正确评价的,其中对 60 幅失真图像正确评价的幅数为 52,可见这种方法能够明显改善对于失真图像的评价准确性,使得评价可靠性提高到 94%,真实反映了图像的视觉感知质量,取得了满意的结果。

结束语 提出了基于梯度方向信息的医学图像质量评价方法。此评价方法摒弃了传统方法只考虑了图像信噪比而忽视图像可视性的缺点,不仅考虑了图像信噪比,而且结合了像素点间的相关性和人类视觉感知特性,通过计算梯度方向信息作为评价指标,能够避免传统方法对失真图像评价可靠性不高的问题,真实反映了图像的视觉感知质量,保证了评价的可靠性。

参考文献

- [1] Niranjana D-V, Kite T D, Geisler W S, et al. Image quality assessment based on a degradation model[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(4): 636-650
- [2] 孔斌. 人类视觉与计算机视觉的比较[J]. 自然杂志, 2002, 24(1): 51-55
- [3] Zhou Wang, Bovik A C. Mean Squared Error; Love it or leave it? [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2009, 26(1): 98-117
- [4] 秦洪英. 医学图像配准算法研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(9): 291-294
- [5] Miao Jun, Huo Dong-hai, Wilson D L. Quantitative image quality evaluation of MR images using perceptual difference models[J]. Medical Physics, 2008, 35(6): 2541-2552
- [6] 袁飞, 黄联芬, 姚彦. 基于视觉掩蔽效应和奇异值分解的图像质量评测方法[J]. 光学精密仪器, 2008, 16(4): 706-713
- [7] 张建勋, 刘羽. 基于多分辨率图像锥与 Hausdorff 距离的医学图像配准[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2010, 24(1): 60-64