

基于互信息方法的医学图像检索

李顺山 杨明星 庄天戈

(上海交通大学生物医学工程系, 上海, 200030)

摘要 提出了一种适用于医学图像检索的新方法, 即最大互信息方法, 使用该方法对超声图像库进行检索实验, 验证了基于最大互信息方法具有良好的检索性能; 该方法既能满足位置不变性、旋转不变性和比例不变性, 又能避免进行图像分割, 从而避免了因图像分割引起的复杂计算, 该方法还具有检索速度不受数据库中图像数目影响等优点, 也适用于对一般图像进行相似性检索

关键词 互信息, 医学图像, 基于内容检索

MEDICAL IMAGE RETRIEVAL BASED ON MUTUAL INFORMATION

LI Shun-Shan YANG Ming-Xing ZHUANG Tian-Ge

(Department of Biomedical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract A new method was presented to retrieve medical image, which is based on mutual information method. A database of ultrasonic images was retrieved by the method. The result shows that this method not only has the features of translation invariant, rotation invariant and scale invariant, but also avoids image segmentation which may lead to a complex calculation. The method has the advantage that the speed of retrieval will not get slow with the increase of the number of images. This new method can also be used to retrieve similar non-medical image.

Key words mutual information, medical image, content-based retrieval.

引言

大量的医学图像数字化以后^[1], 需要快速找到所需要的图像. 传统方法是根据图像的序列号检索, 或者根据图像的文字标注进行检索. 但这种传统检索方法难以满足对医学图像检索的多种需要, 基于内容的医学图像检索应运而生. 基于内容的医学图像检索是根据医学图像本身包含的内容进行检索, 图像的内容可以是视觉特性, 如图像的颜色特性、纹理特性和形状特性等等. 文献中常见的基于内容的检索方案是首先对医学图像进行分割^[2], 提取对象的形状特征, 然后对形状进行字符串表示, 最后进行字符串的相似性匹配, 根据相似性系数的大小检索需要的医学图像. 但这种检索方法性能的好坏取决于图像分割和形状表示的结果, 而且算法实现复杂, 还有些医学图像很难进行分割, 如医学超声图像. 为了避免分割带来的困难, 本文采用了最大互信息的

方法^[3]. 该方法的主要特点是不必对图像进行分割, 通过直接计算图像之间的最大互信息系数, 比较最大互信息系数的大小, 实现对相似性医学图像的检索.

1 互信息计算原理

两个随机变量之间的相关熵, 又称之为互信息. 互信息是信息论中的一个重要的基本概念. 互信息可以作为两个随机变量之间统计相关性的量度, 或是一个变量包含另一个变量的信息量的量度. 两个随机变量 x 和 y 之间互信息的计算公式, 其表达式为^[4]

$$I(x, y) = \sum_{x, y} P_{xy}(x, y) \cdot \log(P_{xy}(x, y) / (P_x(x) \cdot P_y(y))),$$

其中 $P_{xy}(x, y)$ 为随机变量 x 和 y 联合概率密度, $P_x(x)$ 和 $P_y(y)$ 分别为随机变量 x 和随机变量 y 边缘

概率密度. 为了求得联合概率密度和边缘概率密度, 本文采用直方图方法, 这是一种最简单最常用的概率密度估计方法, 从直观的角度提出了以频率代替概率, 以直方图估计概率密度的处理思想. 本文定义联合概率密度为

$$P_{xy}(x, y) = h(x, y) / \sum_{xy} h(x, y),$$

这里随机变量 x 和 y 分别代表检索例图和待检索图像像素的灰度值, 式中 $h(x, y)$ 是两幅图像重叠部分的图像灰度值为 (x, y) 的像素对总数, $\sum_{xy} h(x, y)$ 为两幅图像重叠部分的像素对总数. 本文定义边缘概率密度为

$$P_x(x) = \sum_y P_{xy}(x, y), P_y(y) = \sum_x P_{xy}(x, y).$$

当两幅图像重叠部分的样本数目超过 100000 时, 直方图估计的精度是比较高的, 因此互信息的估计精度也比较高. 本文采用的图像库样本数目为 $576 \times 768 > 100000$, 因此直方图估计的精度可以满足检索要求.

2 检索方案的实现

使用最大互信息方法进行医学图像检索, 可分为以下几个步骤: (1) 建立待检索的医学图像数据库; (2) 对医学图像数据库, 按照上一节讨论的互信息计算公式, 计算出两幅医学图像之间最大互信息系数, 建立检索用的互信息系数特征库; (3) 根据检索需要, 在数据库中选择一例图; (4) 将检索例图与数据库中各图像之间的互信息系数按大小进行排序; (5) 选取一种相似性检索原则, 可以采用互信息最大原则, 即选取互信息最大的几幅图像作为与例图最相似的医学图像检出, 也可以采用一固定门限原则, 即根据互信息系数的大小设定一门限, 所有大于该门限的医学图像作为检索结果检出, 所有小于该门限的医学图像作为不相似图像排除; (6) 显示检索所得的相似性医学图像.

图 1 是基于最大互信息医学图像检索实现方案

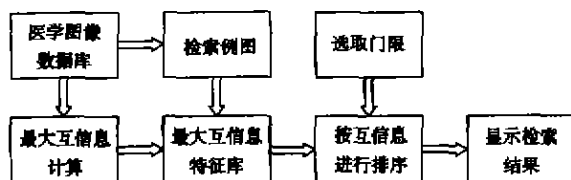


图 1 基于互信息医学图像检索实现方案
Fig. 1 The strategy of retrieval based on mutual information melical image

框图.

3 检索结果分析

检索用的图像库由 30 幅超声图像组成. 我们采用相同的检索例图, 如图 2 和 3 都以 image 23 为检索例图. 采用不同的检索方法, 图 2 采用的是互信息方法进行检索的结果, 图 3 是采用直方图和互相关结合方法的检索结果. 采用直方图和互相关方法只能检索到 2 幅较为相似的图形, 如图 3 中的 image 23 和 image 24, 而采用互信息方法检索, 就可以检索出图像库中 5 幅较为相似的图形, 如图 2 中的 image 23、image 24、image 26、image 27 和 image 28. 这是因为采用直方图和互相关方法进行检索, 虽然 image 23 与 image 24、image 26、image 27 和 image 28 从视觉上判断极为相似, 但由于计算所得的 image 26、image 27 和 image 28 的直方图与 image 23 的直方图的相似性系数远小于 image 23 的直方图与 image 24 的直方图的相似性系数, 所以没有检索到. 若采用互信息方法进行检索, image 23 与 image 23、image 24、image 27、image 28、image 26 的最大互信息分别为 $I(23, 23) = 3.3731$, $I(23, 24) = 0.7875$, $I(23, 27) = 0.59909$, $I(23, 28) = 0.54584$, $I(23, 26) = 0.4446$. 除了 image 23 本身的互信息值较大外, 这几幅图像的最大互信息值比较相近, 而且大于图像库中其它图像的最大互信息系数, 因而所有相似性图像都可以检索到.

图 4 是以 image 2 为检索例图的检索结果, image 2 与 image 2、image 5、image 3、image 11 的最大互信息分别为 $I(2, 2) \approx 2.9186$, $I(2, 7) = 1.0256$, $I(2, 5) = 0.93705$, $I(2, 3) = 0.9353$, $I(2, 11) = 0.9241$. 由于它们的最大互信息系数较大 (大于 0.90), 因而图像之间更为相似.

图 5 是以 image 4 检索例图的检索结果, image 4 与 image 4、image 10、image 8、image 3、image 12 的最大互信息分别为 $I(4, 4) = 3.3606$, $I(4, 10) = 1.1682$, $I(4, 8) = 0.95108$, $I(4, 3) = 0.94058$, $I(4, 12) = 0.94013$. 由于它们的最大互信息系数较大, 相似系数都大于 0.90, 因而图 4 和图 5 中图像之间相似性更好一些.

实验中只选取相似性系数最大的 5 幅图像进行显示, 若取某一最大互信息系数作为门限, 检索所得的结果可能不只是 5 幅图像相似, 最后显示图像数目取决于门限的大小, 这一门限的选择由检索需要确定.

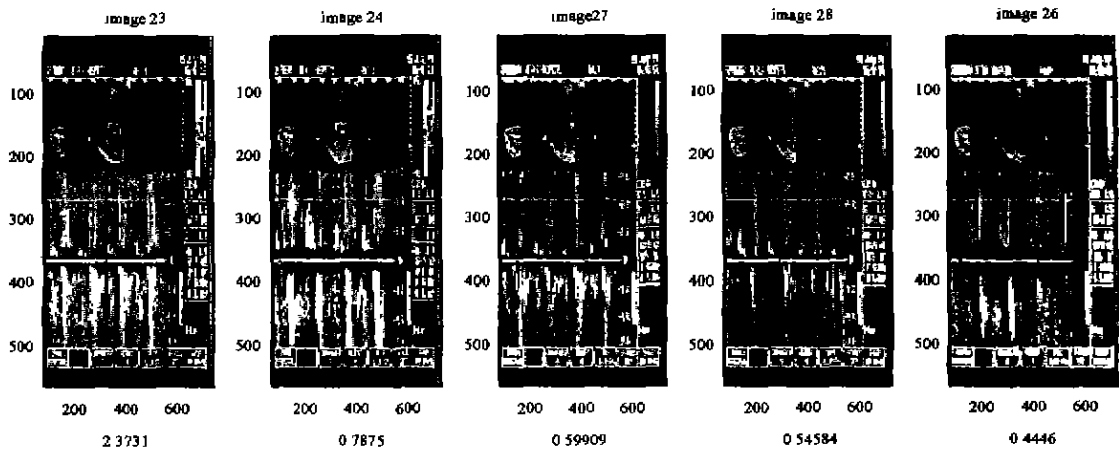


图 2 基于互信息检索结果(检索例图为 image 23)

Fig. 2 Results of retrieval based on mutual information (the example image is No. 23)

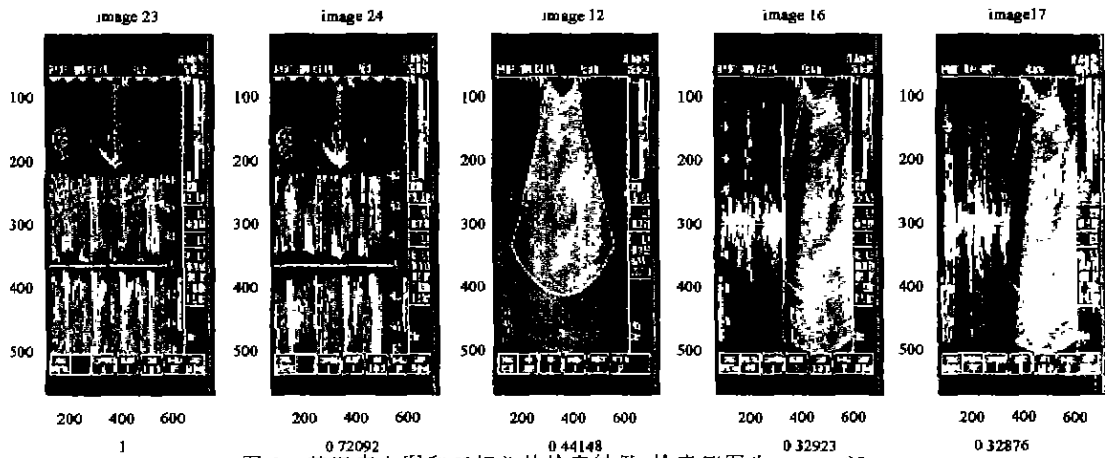


图 3 基于直方图和互相关的检索结果(检索例图为 image 23)

Fig. 3 Results of retrieval based on histogram and correlation (the example image is No. 23)

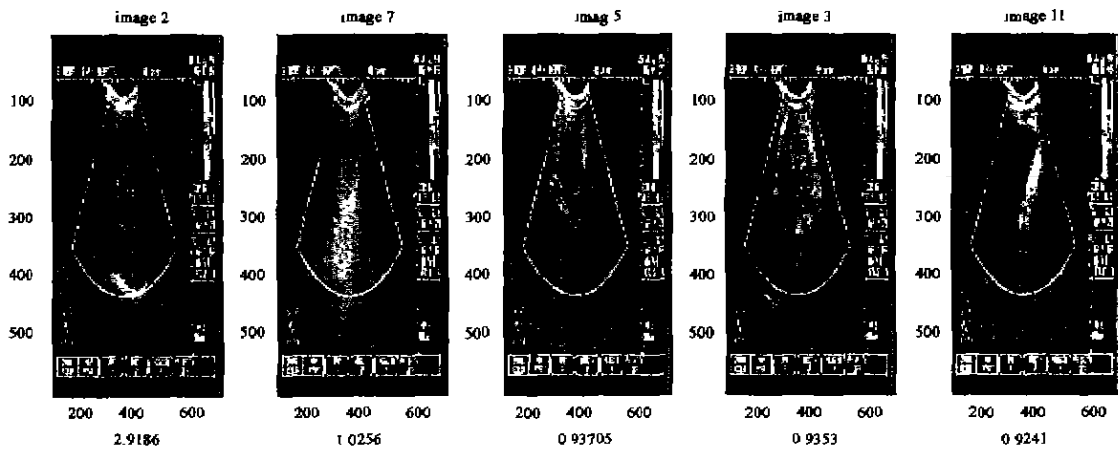


图 4 基于互信息检索结果(检索例图为 image 2)

Fig. 4 Results of retrieval based on mutual information (the example image is No. 2)

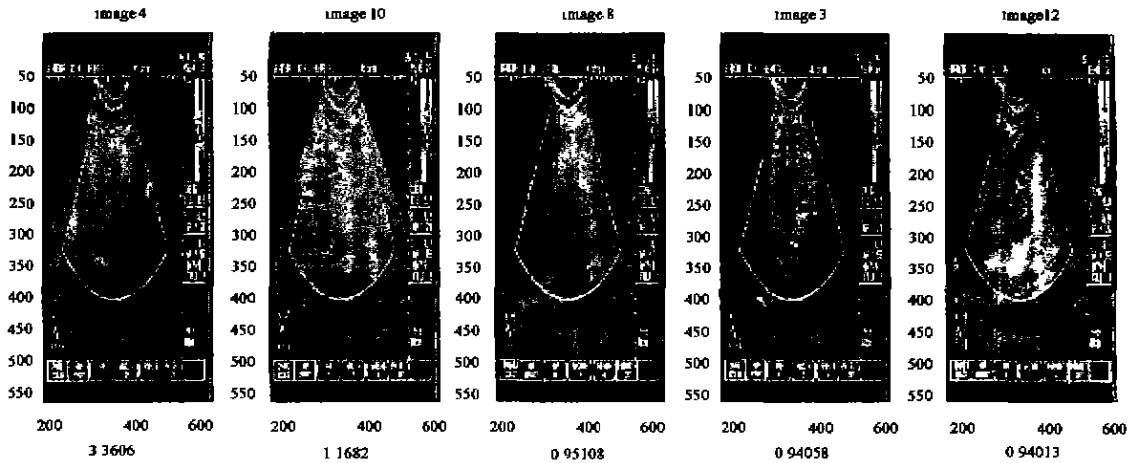


图 5 基于互信息检索结果(检索例图为 image 4)

Fig. 5 Results of retrieval based on mutual information (the example image is No. 4)

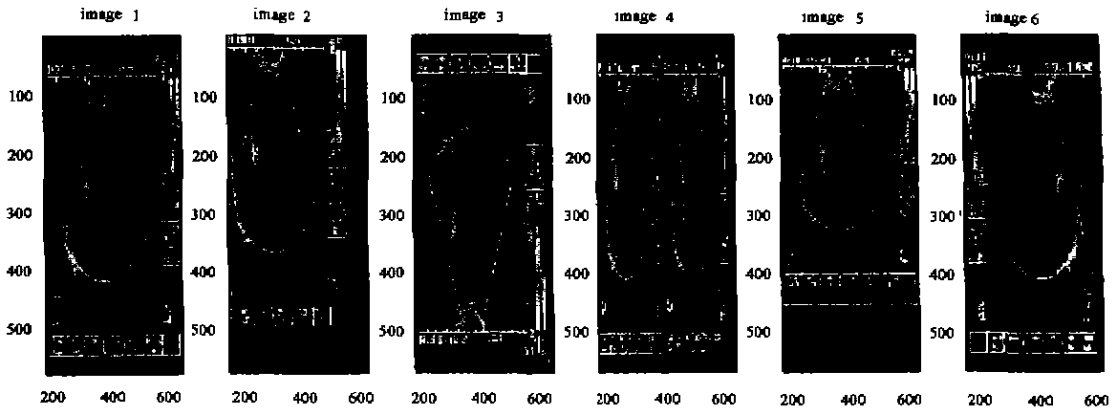


图 6 超声图像(所有图形由 image 1 经过平移、旋转、压缩后形成的)检索结果

Fig. 6 Results of retrieval of ultrasonic images (all images are got from image 1 by translating rotating and scaling)

4 RST 不变性讨论

本文讨论的相似性图像,是指两幅图像中有一些对象是相似的,而不管对象在图像中是否处于相同的位置、是否具有同样的大小和是否具有相同的角度。如图 6 所示,我们认为 image 1 与 image 2、image 3、image 4、image 5 和 image 6 是相似的。

所谓 RST 不变性是指位移不变性、旋转不变性和比例不变性。位移不变性是指当图像中的待检索目标位置移动时,检索结果与目标位置未移动时的检索结果相同,算法的检索结果不受目标位置变化的影响。旋转不变性是指当图像中的待检索目标按一定角度旋转时,检索结果与目标没有旋转时的检索结果相同,算法的检索结果不受目标旋转的影响。

比例不变性是指当图像中的待检索目标按一定比例缩放时,检索结果与目标没有缩放时的检索结果相同,算法的检索结果不受目标大小变化的影响。由互信息理论可知,图像之间的最大互信息具有 RST 不变性^[1]。我们可以使用互信息算法对图 6 的各图求最大互信息值来证实这一点。在图 6 中,image 2 是由 image 1 经过平移得到的,image 3 是由 image 1 沿 x 轴翻转 180 度后得到的,image 4 是由两幅 image 1 沿 x 轴压缩至原来的 50% 后拼接形成的,image 5 是由 image 1 沿 y 轴压缩至原来的 80% 后形成的,image 6 是由 image 1 沿 y 轴翻转 180 度后得到的。

通过最大互信息算法计算可知:image 1 与 image 3 和 image 6 之间的最大互信息系数分别为 I

$I(1,3)=3.014, I(1,6)=3.014$, 和 image 1 本身的互信息系数 $I(1,1)=3.014$ 相同, 这是由于 image 3、image 6 经过旋转变换后, 与 image 1 比较没有任何信息损失, 因此所得的互信息系数相同、image 1 和 image 2 之间的最大互信息值为 $I(1,2)=1.908$, 虽然 image 2 是由 image 1 移位形成的, 但目标位置移动后有一部分背景信息丢失, 因此 $I(1,2)$ 与 $I(1,1)$ 比数值小, image 1 与 image 4 和 image 5 之间的最大互信息值分别为 $I(1,4)=1.354, I(1,5)=1.215$. 由于放大时信息不能完全复原, 因此互信息系数相对变小, 但图 6 中所有的最大互信息系数都大于 1. 通过前几节的讨论可知, 一般来说, 图像的互信息系数大于 0.5 时, 图像较为相似, 因此, image 2、image 3、image 4、image 5 和 image 6 与 image 1 是极其相似的.

本文所述的算法具有位移不变性、旋转不变性和比例不变性, 即具有 RST 不变性. 建立检索用的最大互信息系数特征库是一个较为复杂的优化问题, 在这里不作详细的讨论, 但我们已经建立最大的互信息系数数据库, 其检索速度不受图像数据库中图像数目的影响, 具有很好的检索性能.

5 结论

根据以上几例检索实验结果分析, 可得以下结论.

(1) 图像与它本身的互信息最大.

(2) 图像之间的最大互信息系数对图像的相似性变化极为灵敏, 图像的相似性略有变化, 最大互信息系数变化较大. 如在图 2 中, 虽然 image 23 和 image 24 极为相似, 但它们的互信息值相差较大, 分别为 $I(23,23)=3.3731$ 和 $I(23,24)=0.7875$. 由于医学图像具有较强的相似性, 因此这一方法适用于对医学图像的检索.

(3) 图像之间的相似性可由图像之间最大互信息系数来确定, 因此最大互信息方法是进行基于内容检索的有效方法.

(4) 采用最大互信息算法进行检索具有 RST 不变性.

(5) 采用最大互信息算法进行检索, 检索速度快, 而且不受图像数目的影响, 具有良好的检索性能.

REFERENCES

- [1] Stephen T C Wong, Kent Soo Hoo, Huang Jr. H K. Empower PACS with content-based queries and 3-D image visualization. In: *Proc. SPIE*, 1996, **2711**: 569—579
- [2] Euripides G M Petrakis, Stelios C Orphanoudakis. Methodology for the representation, indexing and retrieval of images by content. *Image and Vision Computing*, 1993, **11**(8): 504—521
- [3] Viola P A, Wells W M. Alignment by maximization of mutual information. *International Journal of Computer Vision*, 1997, **24**(2): 137—154
- [4] Cover T M, Thomas J A. *Elements of information theory*. New York: John Wiley & Sons Inc., 1991