

# 用 Multiquadric 方法实现医学图像的弹性配准

张煜袁贵平袁树祥袁哲星袁谢小棉袁武凡渊第一军医大学医工系图像教研室袁广东 广州 510515冤

摘要目的 改进医学图像弹性配准的精确度和配准方法的稳定性袁并简化配准操作遥方法 利用 Multiquadric 插值方法的平滑性质袁将其与一种半自动标记点选择方法结合袁建立一种新配准方法遥结果 运用此方法进行医学图像的弹性配准袁实现了标准图像与变形图像的快速袁准确配准遥结论 我们建立的配准方法是一种准确袁简便和稳定的方法遥

关键词 图像处理袁计算机辅助配准袁Multiquadric 方法袁平滑处理袁半自动选点

中图分类号 445 文献标识码 文章编号 000-2588渊002冤7-0584-04

## Elastic registration of medical images through multiquadric method

ZHANGYu, JIANGGui-ping, LIShu-xiang, LIUZhe-xing, XIEXiao-mian, CHENWu-fan

Section of MedicalImages, Department of MedicalEngineering, First MilitaryMedicalUniversity, Guangzhou 510515,China

Abstract: Objective Toimprovetheprecisionandreliabilityofelasticregistrationofthemedicalimagesandtosimplifytheregistrationprocess. Methods Previousstudyconcerningelasticegistrationmostlyfocusedonmanualselectionofthelandmarksandthenuseofadequateinterpolatingforelastictransformation.The landmarksextraction,however,waspronetotoerror thatoftenshowedimpactionontheregistrationresults,besidesthedifficultyandtimeconsumptionofmanualidentificationofthelandmarks. OnthebasisofMultiquadricmethodthatallowedsmoothadjustmentoftheparameters, weutilizedasemi-automaticmethodtoextractthelandmarksbycombiningthese2steps,andproposedanovelregistrationmethod. Results Usingthismethodformedicalimageelasticregistration, rapidandaccurateregistrationbetweenstandardanddeformedimageswasachieved. Conclusion Themethodproposedpresentlyisaccurate,convenientandreliable.

Key words: imageprocessing,computer-assisted;elasticregistration;multiquadricmethod;smoothingprocess;semi-automatic points selection

图像配准在医学图像处理中有着广泛的应用袁图像的刚性配准方法只能对图像进行全局配准袁只能对图像进行旋转尧平移和缩放变换遥在很多情况下袁图像都需要进行更精确的局部配准遥在有变形的不同模态图像之间的融合尧外科手术规则与设计尧图像与图谱之间的配准等遥因此袁这就需要我们对图像进行弹性配准以获得图像的精确对应遥

目前常用的医学图像弹性配准方法主要包含 3 个步骤渊冤在待配准图像中选取一定数量的标记点渊冤建立两幅图像的标记点之间的对应关系渊冤利用一种插值方法求取图像之间的配准变换渊冤将求得的变换作用于待配准图像袁实现图像的弹性配准遥在这个过程中袁标记点的选取和精确对应非常重要袁为了保证匹配点的准确性遥现在采用的往往都是手动选点袁这种方法费时费力袁同时在结构不清的情况下袁很难选择到足够多的精确对应点遥而且其准确性也只是相对的袁误差不可避免遥

考虑到对应点之间的误差袁我们采用 Multiquadric 方法求取图像之间的配准变换袁由于 Multi-

quadric 方法中具有平滑调节参数袁合适地选择此参数袁可以使得配准时对标记点的精确性和数量的要求都明显降低遥在这种方法的基础上袁采用一种半自动的标记对应点选取方法袁可以快速地实现标记对应点的选取遥应用这两种方法的结合袁我们实现了快速准确的医学图像弹性配准遥

### 1 Multiquadric 算法

Multiquadric 方法是由 Harder 提出的袁是一种径向基函数插值方法袁常用于散乱数据的三维重建和可视化遥它的插值函数为院

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + c^2}^{-2}, i=1,2,\dots,n$$

这种方法袁我们将它运用到二维图像的弹性配准中遥对两幅待配准的图像袁分别在 x, y 方向上建立插值函数院

$$u = \sum_{i=1}^N f_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + R^2}$$
$$v = \sum_{i=1}^N g_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + R^2}$$

在两幅图像上提取对应特征点袁得到一一对应的特征点集{(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)}和{(u<sub>i</sub>, v<sub>i</sub>)},i=1,2,...,N袁代入上两式中袁建立以下方程组院

收稿日期 001-12-14

基金项目 国家自然科学基金重点项目渊0130180冤

作者简介 张煜 975-冤袁男袁江苏常州人袁现为第一军医大学在读博士研究生袁电话 20-61648285

$$\begin{matrix}
 1 & 1 & \dots & 1 \\
 \frac{1}{r_{11}^2+R^2} & \frac{1}{r_{12}^2+R^2} & \dots & \frac{1}{r_{1n}^2+R^2} \\
 \frac{1}{r_{21}^2+R^2} & \frac{1}{r_{22}^2+R^2} & \dots & \frac{1}{r_{2n}^2+R^2} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \frac{1}{r_{n1}^2+R^2} & \frac{1}{r_{n2}^2+R^2} & \dots & \frac{1}{r_{nn}^2+R^2}
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 b_0 \\
 g_1 \\
 g_2 \\
 \dots \\
 g_n
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 0 \\
 v_1 \\
 v_2 \\
 \dots \\
 v_n
 \end{matrix}$$

其中  $r_{ij} = (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2$

解这个方程组可得待定系数  $f_i$  和  $g_i$  这就是我们求配准变换的待定系数由此得到了图像的配准变换将此变换作用于整幅图像就实现了图像的弹性配准

用 Multiquadric 方法实现图像弹性配准的完整方法可分为 4 个步骤

1. 先用二元多项式法对两幅图像进行全局配准变换使两幅图像之间的变形减小得到

$$u, v = P_0(x, y, u), P_0(x, y, v)$$

2. 取  $[u, v]$  与经过 1 变换后得到的  $[u, v]^0$  之间的对应位移得到

$$(u', v') = u, v - (u, v)^0$$

3. 运用 MQ 方法求变换  $f$  使得  $(u', v') = f(x, y)$

$$u, v = MQ_u(x, y, u'), MQ_v(x, y, v')$$

4. 将 3 和 2 得到的变换值加起来得到最终的变换值

$$(u, v) = u, v + u, v + u, v^0$$

将 3 和 4 得到的变换作用于整幅图像即实现了图像的配准

$$\begin{aligned}
 u &= P(u) + \sum_{i=1}^N f_i \frac{1}{r_i^2 + R^2} \\
 v &= P(v) + \sum_{i=1}^N g_i \frac{1}{r_i^2 + R^2}
 \end{aligned}$$

在 Multiquadric 插值函数中  $R^2$  项是一个很重要的调节因子我们把它称为平滑因子在三维表面数据重建中  $R^2$  起调节重建曲面平滑程度的作用同样运用到二维图像的弹性配准中  $R^2$  的平滑作用可以使对对应特征点选取的数量精确度的要求都降低这样为我们用快速的选点方法提供了条件

$R^2$  值的选定与图像的变形程度和变形控制点的数目相关在三维曲面重建中  $R^2$  的选择经常采

用下式

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)}{n(n-1)}$$

但在二维图像的配准中  $R^2$  的选择有所不同根据图像大小对应点位置差异大小确定根据实际经验我们得到下式作为选择的参照

$$R^2 = (0.6 \sim 0.8) * \min(\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2})$$

在此范围选择  $R^2$  值得到好的配准结果

### 2 半自动标记点选取

标记点的选取很多情况下是手动选择这种方法虽然精确度较高但难度大费时繁琐同时还需要选择者有一定的解剖知识由于采用了 Multiquadric 方法对标记点的对应精确性和数量的要求都降低了因此我们引入一种半自动标记点选取方法这种方法是通过先选取图像的外边界及图像内对应组织边界然后将它们离散得到标记点集此方法能够较准确且快速地选取好对应点从而更为方便

提取图像边界是一个二维问题我们通过几何变换把它转变为一个一维问题

首先在图像中勾画一初始边界作为假设的先验知识然后对此初始边界做变形使它符合图像真实边界在本法中我们用多边形来近似边界并通过计算垂直于多边形每条边上的点来寻找真实边界变换后的图像是一矩阵它的每一行相应于沿着初始化边界上的不同位置每一列相应于垂直于初始化边界方向上的点

初始边界确定后开始对图像进行迭代搜索沿变换后的图像每一列向外搜索搜索到的使能量函数最小的点就是图像的真实边界点

图 1 表示的是用这种方法提取的一幅 MRI 图像外边界的过程

图像边界提取使用的能量函数为

$$E(i, j) = \sum_{k=1}^4 \epsilon_k(i, j)$$

利用这种方法只要设置合适的搜索宽度可以搜索到图像内部组织的边界图 2 是对一幅 MRI 图像提取脑组织轮廓和外轮廓的过程

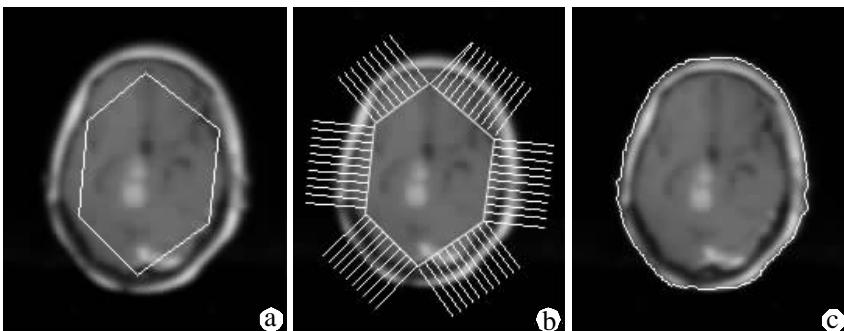


图 1 MRI 图像的边界提取  
Fig.1 Contour extraction of MRI image  
(a)Initial polygon; (b)Searching directions; (c) Contour

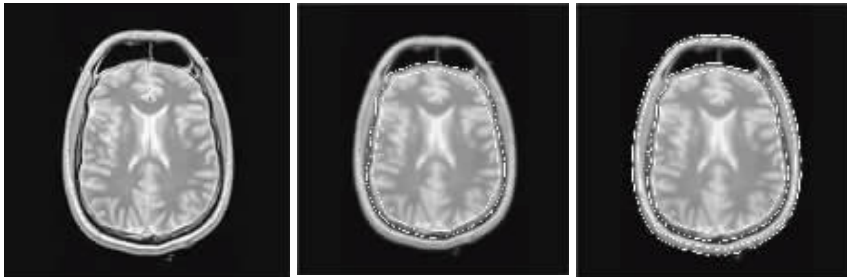


图2 MRI图像脑组织和外边界的提取  
Fig.2 Extraction of the brain issue contour and the outer contour of MRI image

得到了图像的内轮廓后对它进行离散方法是从图像的中心出发等角度间隔地向外发出  $n$  条射线它们与内轮廓的交点就作为选定的标记点对待配准的两幅图像都进行这样的处理从而可以得到一一对应的两组点集作为弹性配准中的对应标记点集虽然这种方法产生的点集对应的精确性不是很高但采用了 Multiquadric 方法后由于平滑因子  $R^2$  的平滑调节作用可以有效克服对应点位置误差的影响而获得好的配准结果

3 实验结果

运用上述方法我们对 CT 和 MRI 图像进行了弹性配准实验结果如下院

图3是一幅有变形的MRI图像大小为  $300 \times 300$

300 是一幅同一层面的标准的 CT 图像是运用半自动标记点选取法分别选择了 60 个标记点用 Multiquadric 方法进行弹性配准的结果其中  $R^2$  未选值是 0 是在 120 个对应标记点情况下用薄板样条插值方法进行弹性配准的结果是在 60 个对应标记点情况下运用平滑 Multiquadric 方法得到的配准结果其中选定  $R^2=25$

通过三幅配准图像我们可以看到在采用半自动标记点选取的情况下选点简单方便快速但是点的对应程度降低如果不采用平滑 Multiquadric 插值选择合适的  $R^2$  值进行平滑配准的准确性不够多采用了平滑 Multiquadric 插值法可以较好地实现弹性配准而也提高了配准的速度

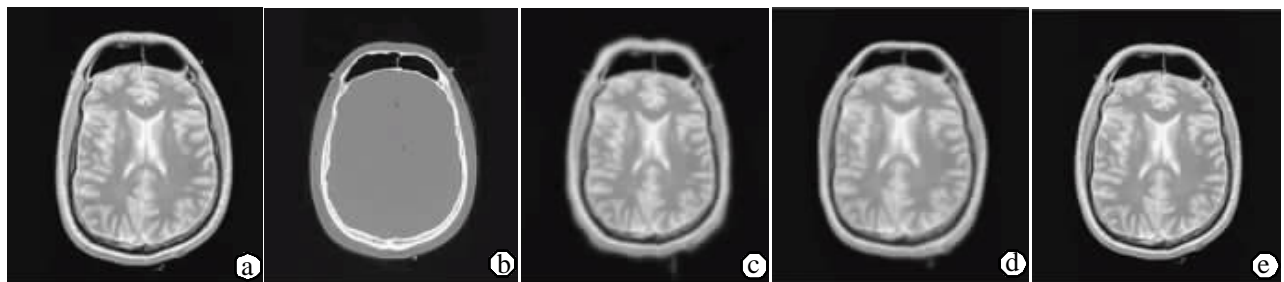


图3 CT和MRI图像弹性配准组图

Fig.3 Serial images of registration of CT and MRI images

(a)DeformedMRIimage;(b)Standardimage;(c)ResultbyMultiquadricmethod;(d)Resultbythin-platesplineinterpolation;(e)ResultbysmoothedMultiquadricmethod

4 结论

本研究根据 Multiquadric 方法及其平滑性质它的基础上采用了一种半自动的标记点选取方法从而能够快速方便地选取多个对应标记点在经过平滑 Multiquadric 方法求解变换后可以很好地达到配准要求

运用平滑 Multiquadric 插值方法进行弹性配准有以下几个优点可以降低对应标记点位置误差对配准结果的影响可以有效去除配准过程中出现的边界毛刺现象降低了配准中对标记点对数量的要求提高了配准速度

实验分析表明本文采用的弹性配准方法是一种准确的稳定的快速的配准方法

参考文献

哨暂 MaintzJB, ViergeverMA. A survey of medical image registration 哨暂 MedImage Anal, 1998, 2(1):1-36.  
哨暂 AbbeyCK, ClarksonE, BarrettHH, et al. A method for approximating the density of maximum-likelihood and maximum a posteriori estimates under a Gaussian noise model 哨暂 MedImage Anal, 1998, 2(4):395-403.  
哨暂 WangY. Smoothing spline models with correlated random error 哨暂 JAmStatAssocia, 1998, 93(441):341-8.  
哨暂 HarderRL, DesmaraisRN. Interpolation using surface splines 哨暂 Aircraft, 1972, 9(2):189-91.  
哨暂 HarderRL. Theory and applications of the Multiquadric-Biharmonic method 哨暂 Computer Math Applic, 1990, 19(8/9):163-208.  
哨暂 FornetM, RohrK, StiehlS. Elastic registration of medical images using radial basis functions with compact support 哨暂 Colorada:

Computervisionandpatternrecognition,1999.402-7.  
 咱暂 FrankeR,NielsonGM.Scattereddatainterpolation:atutorialand survey,geometricmodeling:MethodsandApplications咱暂Berlin: Springer-Verlag,1991,131-60.  
 咱暂 RanganathS. ContourexttractionfromcardiacMRIstudiesusing snakes咱暂IEEETranMedImag,1995,14(2):328-38.  
 咱暂 张煜,李树祥,郑国焱,等.一种用于医学图像配准的图像外边界

的提取方法咱暂北京生物医学工程2000,19渊冤217-20.  
 ZhangYu,LiSX,ZhenGY, et al. Animageextractionmethodused formeicalimageregistration咱暂BeijingBiomedEng,2000,19(4): 217-20.  
 咱暂CalvinRM,GeorgesB,BenoitM, et al.Registrationof3-DImages UsingWeightedGeometricalFeatures 咱暂 IEEETranMedImag. 1996,15(6):836-49.

# B超误诊肾结核 1 例报告

## Misdiagnosis of renal tuberculosis by B-mode ultrasound: report of one case

刘红梅 第一军医大学南方医院超声科 广东 广州 510515 冤

关键词 肾结核 / 超声检查 / 误诊

Key words: tuberculosis,renal/ultrasonography;diagnosticerrors

中图分类号 院527.104 文献标识码 院B 文章编号 院000-2588(2002)07-0587-01

### 1 临床资料

患者男 院0 岁 遥因反复尿频 尿痛 终末血尿伴下腹痛近 2 年 院0 重伴高热 2 d 入院 遥多次尿常规 院红细胞 院+ 院白细胞 院+ 院脓细胞 院+ 院 遥超声检查 院右肾孟积液 院右肾孟内点状回声区 院提示血块或尿液沉积 院图 1 院右输尿管全程扩张 袁下段弱回声 袁考虑血块或新生物 袁提示右输尿管下段梗阻 袁除外结石或占位性病变 院左肾未见异常 遥抗炎治疗 1 个月 袁效果不明显 遥期间曾行肾孟造影 院右肾 院膀胱显影欠佳 院输尿管镜

检查 袁未能进入右输尿管 遥实验室检查 院尿结核杆菌 院- 院基因检测结核杆菌 院- 院结核抗体快速检测 院弱阳性 遥再次超声检查 院右肾孟积液 院仍可见大量点状回声 院右输尿管全程扩张 袁并发现右肾上极混合性占位 院图 2 院 院呈外生性 袁肾被膜外突 院肿块呈圆形 院边界较清楚 院周边为不均质实性回声 院强弱不等 院中央部为多个不规则液性暗区 院以 院车轮状 院考虑肾肿瘤 院并部分坏死 遥手术病理证实为右肾结核 院有干酪样坏死 院肾盂内积液 院输尿管结核 院管壁增厚 遥术后行抗痨治疗 袁病情明显好转 遥



图 1 右肾孟积液与肾孟内点状回声区超声图



图 2 右肾上极弱回声与囊性回声形成的混合性占位超声图

### 2 讨论

近年来 肾结核的不典型病例逐渐增多 袁缺乏特异性临床表现 袁给诊断带来一定困难 袁因而需正确对待检查结果 遥虽然尿结核杆菌 院特异性结核抗体阳性是诊断肾结核的关键 院但阴性者仍不能排除肾结核 遥在超声影像上 院肾孟积液 院肾轮廓改变之前 袁超较难发现肾结构异常 院遥晚期病例超声有如下表现者 袁高度提示肾结核 院渊冤不明原因肾轻度积水 袁集合区光点沉积 袁合并强回声钙化 院渊冤肾被膜不规则 袁肾内病灶回

声类型呈弱回声和强回声并存 袁囊性暗区和强光团并存 院渊冤输尿管增粗 袁管壁回声增强 袁内径轻度扩大 袁与肾积水不成比例 遥尤其应注意肾上极或下极形成的细密均匀的等回声团块或混合性团块与肾肿瘤的鉴别诊断 遥

### 参考文献

咱暂 王春荣,雷雪梅,郭玉娥.61 例肾结核的超声分析咱暂中原医刊, 1999,26(8):19-20.  
 咱暂 付庆国.肾结核的超声显像与病理改变探讨咱暂中国超声医学杂志, 1996,12(1):26-8.  
 FuQG. Sonographicandpathologicalstudyofnephrotuberculosis 咱暂 ChinJUltrasoundMed,1996,12(1):26-8.

收稿日期 院001-09-24

作者简介 院刘红梅 院971 院女 袁广东揭西人 院998 年毕业于第一军医大学 袁主治医师 院讲师 袁电话 院20-61642100