

一种改进形状插值方法在恒河猴脑黑质断层图像中的应用*

朱柳红, 罗述谦

Application of improved shape-based interpolation algorithm in substantia nigra slices of rhesus monkeys

Zhu Liu-hong, Luo Shu-qian

Abstract

BACKGROUND: Studies have shown that pathological change of substantia nigra (SN) is the main reason for Parkinson's disease (PD). From the medical imaging, spatial location, size and 3D morphology analysis of the tiny SN structure are very important to PD's diagnosis and treatment evaluation. As the physiology of rhesus monkey is much similar to human's, it has been used as an ideal experiment subject in many scientific researches.

OBJECTIVE: To modify traditional shape-based interpolation method for SN structure of the rhesus monkey brain slices.

METHODS: To gain the middle layers between two slices, traditional shape-based interpolation used linear weighted mean algorithm. However, considering the impact of adjacent multi-layer to the image, the middle layers were obtained by non-linear weight.

RESULTS AND CONCLUSION: The new interpolation algorithm was assessed with a favorable results. Also, this method was applied to the 3D reconstruction of SN structure. The results show that the new interpolation method can be used in nucleus group interpolation with sparse slices and tiny structures, and offer reference to the related disease research.

Zhu LH, Luo SQ. Application of improved shape-based interpolation algorithm in substantia nigra slices of rhesus monkeys. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(9): 1525-1530. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 研究表明, 脑黑质结构的病变是导致帕金森病的主要原因。从影像学角度来看, 结构微小的黑质空间位置信息、体积以及 3D 结构形态的分析为帕金森病的临床诊断和治疗效果评价提供了十分有力的工具, 因此其三维形态的研究工作尤为重要。由于恒河猴与人类的生理十分相似, 这使它成为许多科学研究中比较理想的实验对象。

目的: 对传统的形状插值方法进行改进, 并运用于恒河猴脑黑质断层图像。

方法: 较常用的形状插值方法是对变换后的相邻两层距离图像进行线性加权平均, 从而获取中间层。试验中考虑多层相邻图像空间位置对插值图像的影响, 然后进行非线性加权获取中间层。

结果与结论: 对插值的方法进行评估, 评估结果比较令人满意, 并运用于恒河猴脑黑质的三维重建中。该形状插值改进方法可以较好地运用于层片稀疏且结构细微的核团插值工作中, 从而为与细微结构相关的疾病研究提供一定的参考价值。

关键词: 恒河猴; 脑黑质; 形状插值; 非线性加权; 距离变换; 三维重建; 数字化医学

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.09.002

朱柳红, 罗述谦. 一种改进形状插值方法在恒河猴脑黑质断层图像中的应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(9):1525-1530. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

在许多科学研究中, 由于恒河猴与人类同属灵长类, 在生理构造和生存条件上十分相似, 且94%的基因与人类相同, 因此它一直是生物学、心理学以及医学等多种科学研究中比较理想的非人类灵长类动物实验对象^[1]。近几年来, 以恒河猴为对象, 研究人类帕金森病已经逐渐成为热点。

帕金森病(parkinson disease, PD)又称震颤麻痹, 是常见于中老年且日益年轻化的神经系统变性疾病。它是一种以静止性震颤、运动迟缓、肌张力增高和姿势平衡障碍为主要临床特征的多巴胺能神经元缺失性神经系统退行性疾病。相关研究表明, 在中脑部位黑质中的

细胞发生病理性改变后, 位于其上的多巴胺能神经元功能遭到破坏, 因此多巴胺合成减少, 抑制乙酰胆碱的功能降低, 造成乙酰胆碱的兴奋作用相对增强, 便出现了震颤麻痹。因此黑质的病变是帕金森病产生的主要原因^[2-3]。从医学影像学角度来看, 黑质的空间位置信息、体积以及3D结构形态的分析为帕金森病的临床诊断和治疗效果评价提供了十分有力的工具, 因此对实验对象黑质三维形态的研究具有十分重要的意义。

黑质是位于中脑背盖部和大脑脚之间的神经核团。黑质体积很小, 双侧黑质体积之和仅占全脑体积的0.05%~0.06%, 这给黑质的图像采集和重建工作带来了不小的挑战。由影像成像设备得到的断层图像数据, 通常在x, y, z三个方向上不具有相同的分辨率, 从而影响三维重建的

College of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China

Zhu Liu-hong★, Studying for master's degree, College of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China
zhuliuhong@gmail.com

Correspondence to: Luo Shu-qian, Professor, Doctoral supervisor, College of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China
sqluo@iee.org

Received: 2009-11-09
Accepted: 2010-01-06

首都医科大学生物医学工程学院, 北京市 100069

朱柳红★, 女, 1985年生, 福建省龙岩市人, 汉族, 首都医科大学生物医学工程学院在读硕士, 主要从事医学图像处理方面的研究。
zhuliuhong@gmail.com

通讯作者: 罗述谦, 教授, 博士生导师, 首都医科大学生物医学工程学院, 北京市 100069
sqluo@iee.org

中图分类号: R394.2
文献标识码: A
文章编号: 1673-8225 (2010)09-01525-06

收稿日期: 2009-11-09
修回日期: 2010-01-06
(20091109031/
G·A)

效果^[4]。不过随着各种成像设备的发展, 图像的精细性也逐渐得到提高, 但分辨率还是很有限, 对于脑内较为微细的核团结构重建出来的效果也不尽如人意。因此, 基于上述的局限性, 利用插值的方法来提高层间的分辨率就变得尤为重要。

现有的层间插值方法可以分为基于灰度的插值方法、基于小波的插值方法和基于形状的插值方法^[5-7]。基于灰度的插值方法是利用相邻两断层图像的灰度值, 运用最近邻域插值或线性灰度插值来计算出新断层图像上的对应点灰度值^[8-9]。虽然它运算量小, 容易实现, 但是它实际上是属于一种低通处理, 而目标的边界主要是由高频信息决定的, 所以它具有不可避免的缺点——边界模糊。基于小波的插值方法是通过改变边缘点对应小波系数的位置和强度而进行的插值^[10-11]。此方法能够克服灰度插值的缺点, 但是计算量却是非常庞大的。基于形状的插值方法, 它隐含假定原始三维灰度图像可以被分割成只包含感兴趣区的二值图像, 然后再根据形状特征进行层间插值。它能够较好地解决边界模糊的问题, 不过运算较为复杂。有学者提出了一种基于距离变换的形状插值方法, 并运用于二值断层图像的插值上, 并得到较好的结果。之后关于二值图像形状插值方面大部分都采用各种距离准则作为判定的标准, 然后用距离变换的方法来求插值的轮廓^[12-14]。

本实验基于传统形状插值的思想, 从非线性和多邻层的角度对形状插值的方法进行改进, 并进行定量的评估, 最后运用于恒河猴脑黑质结构的三维重建工作中。

1 问题的提出

问题1: 黑质的病变是帕金森病产生的主要原因, 如何较为准确地获取其三维形态的结构呢?

黑质的结构非常细微, 而作者所采集到的图像数据在 x , y , z 三个方向上往往具有不同的分辨率。如何更好地使数据在三维上具有相同的分辨率, 让其更接近原始结构呢?

问题2: 传统的形状插值方法有何局限性?

传统的形状插值方法运算较为简单, 但在相邻两幅图像的目标轮廓相差很大或是形心相差较远时效果不理想。

问题3: 如何对传统的形状插值方法进行改进?

传统的形状插值方法首先是进行边缘检测, 接着进行距离变换, 然后利用线性加权平均法进行层间插值; 最后进行目标图像的转换。而层间插值是此方法的核心步骤, 它直接影响到插值结果的好坏。基于此, 首先考虑多层对插值目标的影响, 其次引入非线性加权方法来获取层间图像。

2 问题的解决方法及讨论

基于形状的插值方法, 这种方法的前提是原始的灰度图像可以被分割成只包含感兴趣区的二值图像。通过提取感兴趣区的边缘或轮廓, 即形状特征^[15], 然后根据这个形状特征来进行层间的插值。

2.1 插值模型的建立 由于基于形状插值方法的前提是将图像转换成二值图像然后进行处理, 所以首先必须对断层切片图像进行二值分割, 提取出感兴趣区, 建立目标图像和背景图像。这里假设原始图像有 N 个层面, 分别标记为 S_1, S_2, \dots, S_N , 并假设相邻的两层二值图像分别标记为 S_k 和 S_{k+1} , 则

$S_k = \{P_i, 1 \leq i \leq M\}$, 这里 P_i 代表目标图像上第 i 个像素点。

$S_{k+1} = \{Q_j, 1 \leq j \leq M\}$, 这里 Q_j 代表目标图像上第 j 个像素点。

那么, 在 S_k 和 S_{k+1} 之间进行层间插值即可得到一系列插值图像 $S_i (i: 1, 2, 3 \dots n, n$ 为要插值的总层数)。

2.2 插值算法步骤

Step 1 图像预处理: 通常, 只对图像中的感兴趣区进行研究, 因而可以对图像进行冗余数据的去除, 以提高运算的速度。

Step 2 图像形心的配准: 这里需要对每幅图像进行平移, 使其目标的重心移到图片的正中心, 之后进行插值, 最后进行距离的还原。作者假设 1 幅二值图像可以表示为 $g(x, y)$, 图片的正中心为 (x_0, y_0) , 其形心坐标 (x_c, y_c) 的计算公式如下:

$$x_c = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M x \cdot g(x, y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M g(x, y)}$$

$$y_c = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M y \cdot g(x, y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M g(x, y)}$$

x 方向和 y 方向上的平移的距离即为两中心的距离差:

$$Tx = x_0 - x_c, Ty = y_0 - y_c$$

Step 3 利用边缘检测Canny算子提取出目标区域的边界轮廓, 获取形状特征: Canny算子是经典的图像边缘检测方法, 它与传统的四领域跟踪法相比具有较好的信噪比、较高的定位性能和对单一边缘仅有惟一相应等特

性, 即对目标边缘敏感性较高^[16-17]。

Step 4计算图像内各点到边界的距离: 在实际计算中, 常常用到两种距离测度: 非欧氏距离和欧氏距离 (Euclidean Distance)。在非欧氏距离中, 较为常用的是城市街区距离 (City Block Distance) 和切削距离 (Chamfer Distance) 等, 它们是欧氏距离的一种近似值, 虽然在图像进行形状插值的过程中, 它们的优点是时间较快, 但也存在较大的误差^[18]。而欧氏距离是两个点之间的真实距离, 因此作者采用欧氏距离作为距离的测度。假设图像中的两个点为 $P1(x_1, y_1)$, $P2(x_2, y_2)$, 它们之间的欧氏距离定义为:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

根据此距离量度, 计算出图像上每个点到目标轮廓的最短距离。对于轮廓内部的点, 将其最小距离定义为正值; 对于轮廓外部的点, 最小距离定义为负值; 轮廓上的点, 则为0。那么, 经过计算可以得到一幅新的图像, 即距离图像^[19]。

Step 5多邻层非线性加权法: 首先, 在利用加权算法之前, 得先明确以下参数:

Δx : xy 平面上相邻两个像素点之间的距离;

Δz : 断层之间的距离, 即层厚。

一般情况下, 为了让断层图像在 X, Y, Z 三个方向上有相同的分辨率, 可以利用 Δx 与 Δz 之商来决定两断层之间所需要插的层数 n , 即

$$N = \frac{\Delta x}{\Delta z}$$

传统的加权平均算法如下^[20]:

将2幅图像 S_{a0}, S_{b0} 中对应像素的数值各乘以一个线性权系数再相加得到插值图像 S_i 。

这里的权系数 α , 依据预插入的层数为基础, 并假设权重与距离成反比的关系进行权值的确定。如预往 S_{a0}, S_{b0} 中插入 n 层图像, 则 S_{a0} 所插的第 i ($0 < i < n+1$, i 为整数) 层权重 α 计算如下:

$$\alpha = 1 - \frac{i}{n+1}$$

则插值图像为: $S_i = \alpha \cdot S_{a0} + (1-\alpha) \cdot S_{b0}$, 其中权系数 α 满足 $0 < \alpha < 1$ 。

为了充分利用相邻层之间的位置和形状关系, 作者提出了多邻层的非线性加权法。多邻层是相对于传统的二邻层而言, 非线性是相对于传统的线性而言提出来的, 即假设权重与距离的平方成反比。具体算法如下:

预在两幅图像 S_{a0}, S_{b0} 中插入等间距的 n 层图像(图

像的序列为 $\dots S_{ak}, S_{a(k-1)}, \dots S_{a1}, S_{a0}, S_{b0}, S_{b1}, \dots S_{b(k-1)}, S_{bk}, \dots$), 若考虑相邻 $2M$ 层对其的影响, 权系数的确定如下:

S_{ak} 层对所插的第 i 层的权重为:

$$\alpha_{ak} = \frac{\frac{1}{[k(n+1)+i]^2}}{\sum_{k=0}^{M-1} \frac{1}{[k(n+1)+i]^2} + \frac{1}{[(k+1)(n+1)-i]^2}}$$

S_{bk} 层对所插的第 i 层的权重为:

$$\alpha_{bk} = \frac{\frac{1}{[(k+1)(n+1)-i]^2}}{\sum_{k=0}^{M-1} \frac{1}{[k(n+1)+i]^2} + \frac{1}{[(k+1)(n+1)-i]^2}}$$

则第 i 层插值图像为:

$$S_i = \sum_{k=0}^{M-1} \alpha_{ak} \cdot S_{ak} + \sum_{k=0}^{M-1} \alpha_{bk} \cdot S_{bk}$$

其中权系数 α 满足 $0 < \alpha < 1$ 。

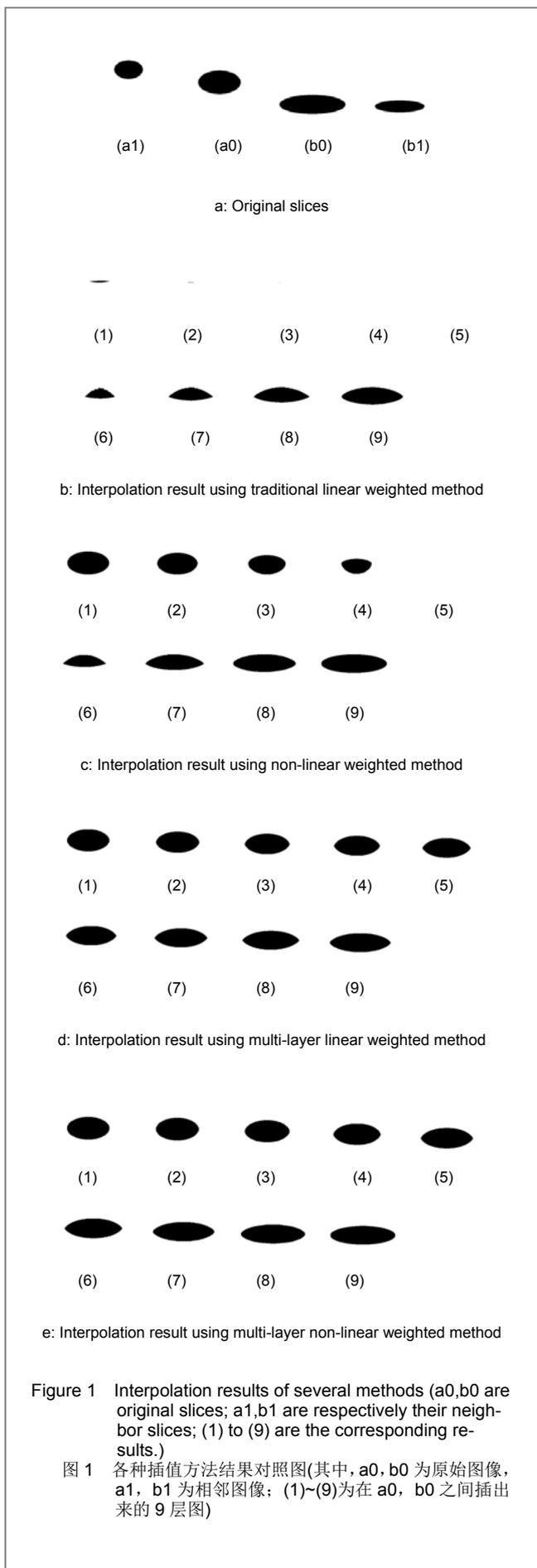
Step 6插值后的距离图像转换为目标二值图像并对图像进行距离还原: 只需将插值出来的距离图像中的像素值进行检测, 若像素值为负, 则为背景, 将其赋予0值; 若像素值为0, 则表示目标的边缘, 因此把该像素的值赋为1; 若像素值大于1, 表示目标物体内部, 也应赋予1值。根据此方法就可得到最终所需要的一系列目标二值图像。即最终插值得到的目标二值图像 S_m 可以表示为,

$$S_m = \begin{cases} 0, & S_i < 0 \\ 1, & S_i \geq 0 \end{cases}$$

转换后的图像并不是所要得到的最终图像, 还需要将其进行距离的还原。此处还原距离的大小, 需要由参与形成插值图像的各源图像的平移距离和其相对应的权重来决定。

2.3 插值方法的讨论 举例说明, 原始图以及应用如下插值方法在 $a0, b0$ 两幅原始图之间插值出来的效果图见图1。

对比图1b, c, 可以看出非线性加权法优于传统线性加权法; 从图1c, d, 可以看出多邻层的方法优于传统二邻层方法。综上所述, 将非线性加权和多邻层插值结合起来, 形成多邻层非线性加权插值法。其效果图如图1e, 可以直观地看出图e的效果是最好的, 因此将用此方法来对黑质图像进行插值处理。



3 材料及结果

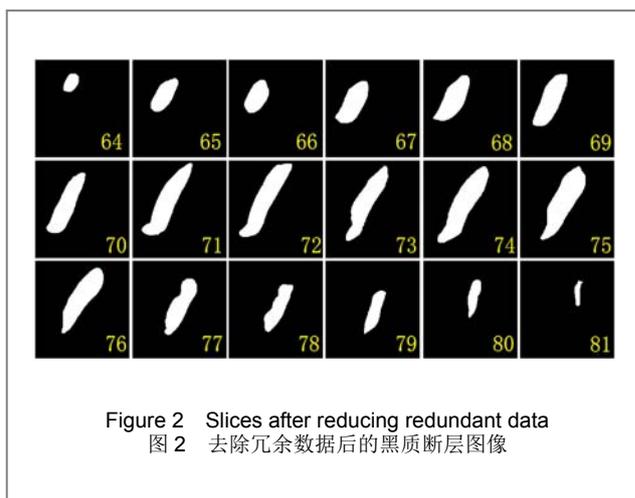
本文数据来源于Paxinos等^[1]教授完成的恒河猴脑图谱。该图谱是目前恒河猴脑图谱中最全面, 最准确的图集, 也是灵长类动物的神经系统研究工作中不可或缺的资源。

图像采集的对象是雄性恒河猴, 体质量约8.2 kg, 对其注射150 mg/kg的戊巴比妥(一种镇静催眠药)后, 将其放在立体定向仪上面。在离恒河猴双耳平面高约22.7 mm处, 放置一根长针作为横向基准标志。而两个垂直方向的基准标志分别在前囟后10和30 mm处。然后对恒河猴静脉注射过量的戊巴比妥, 之后并将其头部取下, 清除猴脑腹部多余部分和脑膜, 并将其放于立体定向仪上面。

此系列图像为冠状面采集, 共采集151层, 图像宽为33.05 cm, 高35.59 cm, 层间距为0.45 mm, 像素间的距离为0.09 mm。其中黑质部分的有效图层从第64层开始至81层, 共18层。

3.1 数据处理 由于图像比较大(3 669*3 951), 而目标区域较小, 为了减少图像数据的运算量, 减少冗余数据, 将目标区域定格于700*700的窗内, 从而加快插值和重建的速度。

图2显示的是将所有slices提取目标区域并去除冗余数据后的图像。



由于本文所用数据图像的像素之间的距离为0.09 mm, 层间距为0.45 mm, 因此在中间插4层可以达到等分辨率的效果。将上述图像预处理和综合插值方法运用于此套数据, 获取了全部的插值图像。为了能够定量地评价改进方法的优势, 需要对其进行评估。

3.2 插值图像评估 设 S_k, S_{k+1}, S_{k+2} 是3个连续的原目标图像层片, 是在 S_k 与 S_{k+2} 之间利用这种插值方法得到

的层片。

$$R_1 = \frac{|Y(S'_{k+1}, S_{k+1})|}{|S_{k+1}|} \times 100\%$$

其中, R_1 是插值后新层片与真实原层片像素差异的百分比^[21]。

同时, 为了能够在一定程度上表示出形状的差别, 也引入了插值前后2幅图像形心之间的欧氏距离 d 。

这两个参数结合起来可以作为层间插值方法性能的测度。作者对本文黑质图像的70层和75层之间, 利用传统的邻层线性加权平均法和多邻层非线性加权法来获取插值的71~74层, 并与原图像进行上述两个测度的计算进行评估, 评估数据如表1所示。

表 1 插值方法评估
Table 1 Valuation of interpolation methods

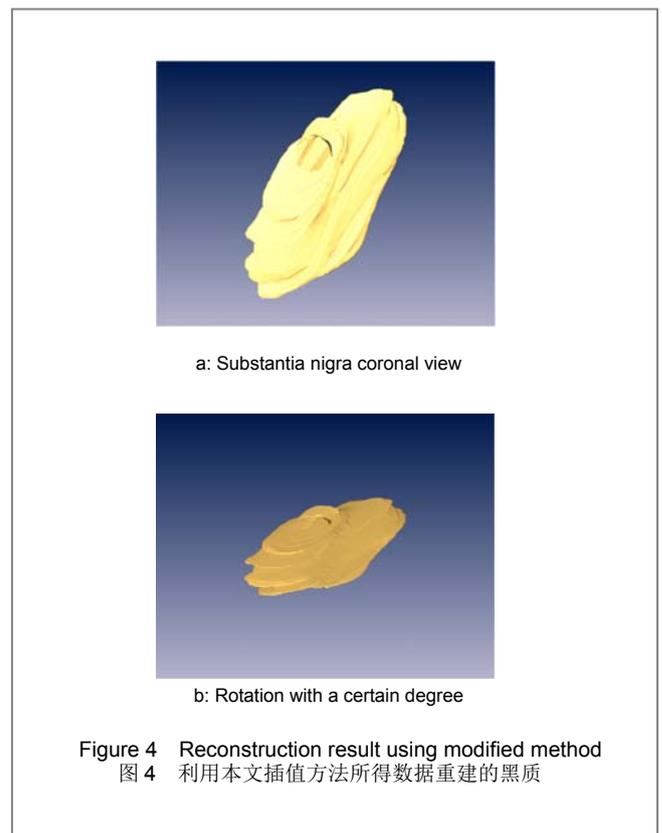
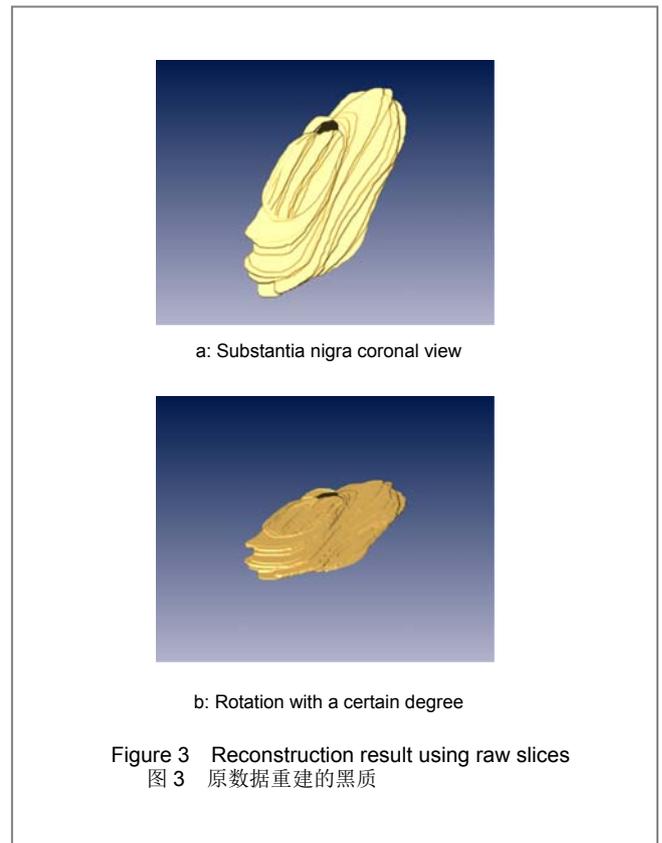
Item	Percentage of pixel difference R_1 (%)		Centroid distance (distance)	
	Traditional linear weighted method	Multi-layer non-linear weighted method	Traditional linear weighted method	Multi-layer non-linear weighted method
Comparing with slice 71	3.52 98	1.131 6	20.615 5	13.341 7
Comparing with slice 72	6.704 1	5.791 8	27.166 2	22.472 2
Comparing with slice 73	5.785 9	5.103 5	17.000 0	16.832 9
Comparing with slice 74	5.366 5	5.105 9	39.395 4	37.697 2
Average	5.346 6	4.283 2	26.044 3	22.586 0

R_1 越小, 说明根据本文方法重建出来的中间层同原始层的差异越小。插值图像形心同原始图像形心间的距离 d 越小, 说明两图像形状越接近, 之间的差异也越小。

表1中, 改进方法的 R_1 和形心距离 d 的值都有所下降, 说明此方法插出来的图像更接近原始图像。

3.3 三维重建结果 图3显示的是根据原始数据利用表面绘制方法重建出来的黑质, 图3a显示的是黑质的冠状面, 图3b是旋转一定角度的显示形态^[22-26]。由于恒河猴脑黑质本身结构非常小, 而且受到采集精度的局限, 得到的层片较为稀疏, 在Z方向上, 只能采集到18层图像, 因此在Z方向上, 分辨率较XY平面上的分辨率低。所以从图3可以看出根据原始数据重建出来的黑质阶梯感非常严重, 表面重建结果不理想。图4是利用本文插值方法所得的数据重建出来的黑质结果图, 较原始图而

言, 阶梯感已经得到很明显的降低, 表面重建的结果也比较好。



4 结论

本文通过对断层图像插值方法的研究, 基于传统的形状插值方法, 提出了一种多邻层非线性加权的插值方法, 并将其与传统的方法进行定性和定量的评估, 最后将其应用到恒河猴脑断层图像的插值和三维重建上。插值评估和重建的结构比较令人满意, 从而可以为基于恒河猴的帕金森病临床实验研究提供一定的参考价值。同时, 也可将此方法运用于其他稀疏层片细微结构的插值和研究工作中。

5 参考文献

- [1] Paxinos G, Huang XF, Toga AW. The Rhesus Monkey Brain in Stereotaxic Coordinates. 2nd ed. Academic Press. 2009.
- [2] Dong HR, Ye M, Ding XS. Zhongguo Linchuang Kangfu. 2004; 8(4): 758-759.
董海蓉, 叶民, 丁新生. 帕金森病黑质多巴胺神经元的凋亡与其发病机制[J]. 中国临床康复, 2004, 8(4): 758-759.
- [3] Zecca L, Wilms H, Geick S, et al. Human neuromelanin induces neuroinflammation and neurodegeneration in the rat substantia nigra: implications for Parkinson's disease. Acta Neuropathologica. 2008;116(1): 47-55.
- [4] Xing YJ, Zhang YF, Lu HF, et al. Zhongguo Tishijue yu Tuxiang Fenxi. 2003;8(3): 187-192.
邢英杰, 张艳峰, 陆海涛, 等. 医学图像体视化技术的研究与开发[J]. 中国体视视觉与图像分析, 2003, 8(3): 187-192.
- [5] Lehmann TM, Gönner C, Spitzer K. Survey: interpolation methods in medical image processing. IEEE Trans Med Imaging. 1999; 18(11):1049-1075.
- [6] Ma JL, Cui ZM, Gong SR, et al. Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao. 2008;13(8): 1525-1531.
马建林, 崔志明, 龚声蓉, 等. 一种基于ROI的自适应3维医学图像插值方法[J]. 中国图像图形学报, 2008, 13(8): 1525-1531.
- [7] Liu J, Nowinski WL. A hybrid approach to shape-based interpolation of stereotactic atlases of the human brain. Neuroinformatics. 2006;4(2):177-198.
- [8] Xu WH, Yin XS. Jisuanji Fangzhen. 2006;23(1): 111-114.
许为华, 尹学松. 医学图像插值算法的研究[J]. 计算机仿真, 2006, 23(1): 111-114.
- [9] Meng JY, Shu HZ, Bao XD, et al. Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao. 2003;8(3): 311-316.
孟晋宇, 舒华忠, 鲍旭东, 等. 基于形状的二维灰度图像插值[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8(3): 311-316.
- [10] Huang HY, Qi FH, Chen J, et al. Zidonghua Xuebao. 2002;28(5): 722-728.
黄海赞, 戚飞虎, 陈剑, 等. 基于小波的医学图像插值[J]. 自动化学报, 2002, 28(5): 722-728.
- [11] Ren ZR, Ren HR. Chuanbei Yixueyuan Xuebao. 2004;19(3): 85-87.
任昭蓉, 任华蓉. 一种基于小波的医学图像插值算法[J]. 川北医学院学报, 2004, 19(3): 85-87.
- [12] Dong XH, Fan YB. Feshan Kexue Jishu Xueyuan Xuebao: Ziran Kexueban. 2008;26(2): 22-24.
董小红, 范彦斌. 基于距离变换的ICT层间图像插值[J]. 佛山科学技术学院学报: 自然科学版, 2008, 26(2): 22-24.
- [13] Rohlfing T, Maurer CR Jr. Shape-based averaging. IEEE Trans Image Process. 2007;16(1):153-161.
- [14] Liu XB, Zou BJ, Sun JG. Jisuanji Xuebao. 2006;29(2): 317-322.
刘相滨, 邹北骥, 孙家广. 基于边界跟踪的快速欧氏距离变换算法[J]. 计算机学报, 2006, 29(2): 317-322.
- [15] Lee TY, Lin CH. Feature-guided shape-based image interpolation. IEEE Trans Med Imaging. 2002;21(12):1479-1489.
- [16] Zeng H, Wang H. Xiandai Dianzi Jishu. 2006;29(14): 52-56.
曾欢, 王浩. 图像边缘检测算法的性能比较与分析[J]. 现代电子技术, 2006, 29(14): 52-56.
- [17] Yang H, Liang DQ, Yang WH, et al. Tongxin Xuebao. 1999;20(8): 47-51.
杨烜, 梁德群, 杨万海. 边缘检测中Canny算子、二次样条小波算子性能分析[J]. 通信学报, 1999, 20(8):47-51.
- [18] Zhuge Y, Tian J, Wang WH. Ruanjian Xuebao. 2001;12(3): 383-388.
诸葛婴, 田捷, 王蔚洪. 三维欧氏距离变换的一种新方法[J]. 软件学报, 2001, 12(3): 383-388.
- [19] Coeurjolly D, Montanvert A. Optimal separable algorithms to compute the reverse euclidean distance transformation and discrete medial axis in arbitrary dimension. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2007;29(3):437-448.
- [20] Han DL. Yiliao Weisheng Zhuangbei. 2003;24(7):41.
韩冬林. 加权平均算法在DSA图像处理中的应用[J]. 医疗卫生装备, 2003, 24(7):41.
- [21] Luo SQ, Zhou GH. Beijing: Science Press. 2003: 199.
罗述谦, 周果宏. 医学图像处理与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 199.
- [22] d'Angelo P, Wöhler C. Image-based 3D surface reconstruction by combination of photometric, geometric, and real-aperture methods. ISPRS J Photog Rem Sens. 2008;63(3):297-321.
- [23] Zhang J, Wang YJ. Yixue Xinx. 2006;19(5): 948-950.
张季, 王宜杰. 医学图像三维重建方法的比较研究[J]. 医学信息, 2006, 19(5): 948-950.
- [24] Zhang KY, Chen Y, Niu SQ, et al. Jilin Yiyao Xueyuan Xuebao. 2008;29(4): 195-197.
张阔野, 陈禹, 牛松青, 等. 利用Amira进行脑基底核的三维重建[J]. 吉林医药学院学报, 2008, 29(4): 195-197.
- [25] Gao HJ, Wu SC, Ren XY, et al. Beijing Shengwu Yixue Gongcheng. 2006;25(5): 534-537.
高宏建, 吴水才, 任新颖, 等. 利用Amira进行肝脏及其管道系统的三维重建[J]. 北京生物医学工程, 2006, 25(5): 534-537.
- [26] He HG, Tian J, Zhao MC, et al. Ruanjian Xueyuan. 2002;13(2): 219-225.
何晖光, 田捷, 赵明昌, 等. 基于分割的三维医学图像表面重建算法[J]. 软件学报, 2002, 13(2): 219-225.

来自本文课题的更多信息--

利益冲突: 无利益冲突。

课题的创新点: 对于恒河猴脑黑质这种细微结构而言, 利用现有的图像采集技术也只能采集到稀疏的几个层面, 为了使其三维重建结果更加符合原始结构, 传统的形状插值方法已经不能满足要求, 基于此提出了多层非线性加权法来进行插值。

课题评估的“金标准”: 文章利用了“象素差异百分比”和“形心距离”对插值结果进行评估。

设计或课题的偏倚与不足: 非线性加权法的计算量较大, 这是非线性固有的缺点也是该实验的不足, 如何优化计算以提高计算速度是课题下一步的努力方向。

提供临床借鉴的价值: 脑黑质结构的病变是导致帕金森病的主要原因。从影像学角度来看, 黑质 3D 结构形态的分析能够为帕金森病的临床诊断和治疗效果评价提供十分有力的工具, 因此其三维形态的研究工作尤为重要。文中的形状插值改进方法可以较好地运用于层片稀疏且结构细微的核团插值工作中, 从而为与细微结构相关的疾病研究提供一定的参考价值。