

基于 Legendre 正交矩的配准方法 及其在二值图像配准中的应用

葛云,舒华忠,罗立民
(东南大学生物科学与医学工程系,南京 210096)

摘要: Legendre 矩在模式识别、图像分析等领域有广泛的应用,具有正交、无冗余性等优点. 本文提出了一种基于 Legendre 正交矩的配准方法,它在医学图像多模态数据的配准、融合中具有重要的实用价值.

关键词: Legendre 多项式; 正交矩; 配准; 多模态图像; 数据融合

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2001) 01-0054-03

A New Way of Linear Registration Using the Legendre Orthogonal Moment and Application in 2-Value Image Data

GE Yun, SHU Hua-zhong, LUO Li-ming
(Department of Biology and Medical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Legendre moment has been widely used in pattern recognition and image processing. It has the merits of orthogonality and minimal information redundancy. This paper presents a new way of linear registration using the Legendre moment. It has important value in the registration and fusion in multi-modality medical image, and in the radiotherapy treatment program system.

Key words: orthogonal moments; registration; multi-modality image; data fusion

1 引言

自 HU 提出了矩的理论及应用以来^[1], 矩的研究在模式识别、图像分析等许多领域取得了很大的发展. 图像配准的主要任务是要在两幅图像(二维或者高维)之间建立对应关系, 也就是寻找图像间的变换. 有人用旋转-缩放的方式做了体部的 PET 功能性图像和 CT 或 MR 图像的融合^[2,3], 有很多的方法可用来进行图像融合配准, 如基于表皮配准^[4]、基于几何矩的配准^[5]以及基于相似特征对的配准^[6]等, 考虑到通用性, 已有文章介绍了对于点、线以及面的特征的提取和匹配^[7,8]. 本文提出了基于 Legendre 正交矩的二维图形的线性配准方法, 它具有正交性、无冗余性等优点, 和几何矩相比, 具有重建特性, 且匹配更加准确.

2 Legendre 正交矩的线性配准方法

二维图形 $f(x, y)$ 的 Legendre 正交矩的定义如下

$$m_{mn} = \frac{(2n+1)(2m+1)}{4} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 P_n(x) P_m(y) f(x, y) dx dy \quad (1)$$

$f(x, y)$ 的坐标取值要求 $x, y \leq 1$, 在此范围内, Legendre 矩才具有正交性, 这是和几何矩不同的地方, 这就需要将图形坐标进行拉伸归一化处理.

步骤一: 对准质心. 图形的质心坐标如下:

$$\bar{x} = \frac{1}{A} \int x dA, \quad \bar{y} = \frac{1}{A} \int y dA \quad (2)$$

Legendre 多项式的零阶值、一阶值和几何矩是一致的, 如果将参考的图形 ref 和需检测的图形 test 进行线性配准, 可以得到两图形的几何位移:

$$x = \bar{x}_{test} - \bar{x}_{ref}, \quad y = \bar{y}_{test} - \bar{y}_{ref} \quad (3)$$

步骤二: 确定参考的图形 ref 和需检测的图形 test 的比例因子.

$$sf = \sqrt{\frac{A_{test}}{A_{ref}}} \quad (4)$$

步骤三: 确定两对比图形旋转的角度. 当将两对比图形的质心 T 对准, 假设图形的外接轮廓顶点按序表示为: X_1, X_2, \dots, X_i , 现将两图形进行归一化处理, 则:

$$x = (x - \bar{x}) / \max |X_i - T| * k \quad (5)$$

$$y = (y - \bar{y}) / \max |X_i - T| * k$$

这里 $\max |X_i - T|$ 表示各顶点距离质心的最大距离, $0 < k \leq 1$, 多次实验证实, k 值通常取为 0.8 较为合适, 式(1)变为:

$$\hat{m}_{mn} = \frac{(2n+1)(2m+1)}{4} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 P_n(x) P_m(y) f(x, y) dx dy \quad (6)$$

对需检测的图形 test 旋转角度 θ 后计算的 Legendre 正交矩, 记为 $(\hat{m}_{mn})_{test}$, 这样计算下述相关系数:

$$corr(\theta) = \frac{\sum_{i+j \geq 0}^{i+j \leq m} (\hat{\Lambda}_{ij}(\theta))_{test} (\hat{\Lambda}_{ij})_{ref}}{\sqrt{\sum_{i+j \geq 0}^{i+j \leq m} (\hat{\Lambda}_{ij}(\theta))_{test}^2} \sqrt{\sum_{i+j \geq 0}^{i+j \leq m} (\hat{\Lambda}_{ij})_{ref}^2}} \quad (7)$$

式中: m 表示计算 Legendre 矩的最高阶数, 通常取 $m \leq 40$ 就足够了. 另外通常定义匹配系数 $M(\theta)$ 如式(8), 显然当 $M(\theta)$ 值越小时, 匹配的效果就越好, 当求出 $M(\theta) \rightarrow \min$ 时对应的值, 就认为此 θ 角即为所求的最佳匹配旋转角度.

$$M(\theta) = 1 - corr(\theta) \quad (8)$$

3 Legendre 矩的快速算法

直接求取, 计算量是相当庞大的. 文献[9, 10]介绍了一种均匀图形的基于格林公式和迭代方法的快速算法, 此方法实用有效, 在计算 Legendre 各阶正交矩后, 可以重建图形.

4 实验及结果讨论

随机选择一个较为复杂、带有一定普遍意义的图形作为参考研究对象, 如图 1 所示, 边缘既具有凸形和凹形, 又具有其它的斜率信息, 定义图形 s 如式(9); 图 2 为 $k = 0.8$ 时归一化处理后的图形; 图 3 为矩的不同阶数的重建图形的效果图, 阶数越高, 重建图形越逼近多边形轮廓线.

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in s \\ 0, & (x, y) \notin s \end{cases} \quad (9)$$

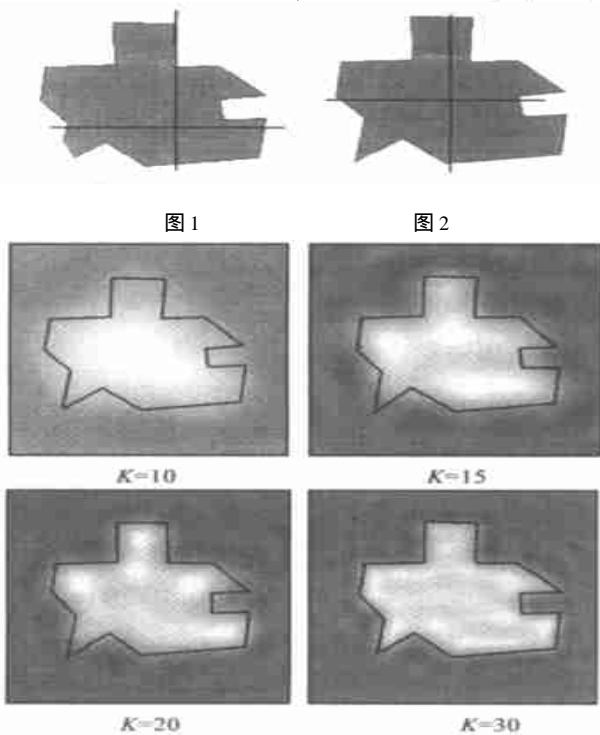


图 3

为了模拟实际情况, 在计算机模拟中, 本文对提取的边界顶点作了白噪声扰动处理, 扰动幅度在 5% 以内. 下面对图形配准进行了大量的测试试验, 如果总结如下. 表 1 说明了 X 、 Y 方向位移和比例因子的检验结果, 从表中结果可以看出位

移误差的幅度比较小, 不超过 1 个单位, 随着位移幅度的增加, 误差的幅度有所加大; 关于比例因子的测试结果令人满意, 它们之间的误差很小, 不超过 0.02, 而且比例因子的扩大, 对误差的影响不大; 表 2 关于旋转角度的测量显示误差很小, 而且当计算的阶数提高时, 匹配更加准确, 从表 2 中可以看出, 当阶数提高到 10 阶以上时, 误差基本为 0; 另外, 注意到随着阶数提高, 匹配系数 $M(\theta)$ 有所增加.

表 1 Legendre 矩 X 方向、 Y 方向、比例因子测试

测试数	X 方向测试		Y 方向测试		比例因子测试	
	已知位移	测试结果	已知位移	测试结果	已知位移	测试结果
1	3	3.010	3	2.999	0.3	0.2961
2	7	6.980	7	6.973	0.6	0.5989
3	10	10.012	10	9.986	0.9	0.9007
4	15	15.030	15	15.028	1.5	1.4995
5	20	19.850	20	20.033	2	1.9971
6	25	25.630	25	24.958	3	3.0143

表 2 Legendre 矩旋转角度测试

测试数目	阶数	已知角度	$K=5$		$K=10$		$K=20$	
			测试结果	$M(\theta) \rightarrow \min$	测试结果	$M(\theta) \rightarrow \min$	测试结果	$M(\theta) \rightarrow \min$
1	300	299.0	0.0007	300.0	0.0024	300.0	0.0124	
2	320	321.1	0.0016	320.0	0.0025	320.0	0.0086	
3	340	341.1	0.0007	340.0	0.0023	340.0	0.0097	
4	20	21.31	0.0011	20.0	0.0021	20.0	0.0075	
5	40	38.62	0.0004	40.0	0.0020	40.0	0.0053	
6	60	62.11	0.0005	60.0	0.0026	60.0	0.0174	

表 3 几何矩旋转角度测试

测试数目	阶数	已知角度	$K=5$		$K=10$		$K=20$	
			测试结果	$M(\theta) \rightarrow \min$	测试结果	$M(\theta) \rightarrow \min$	测试结果	$M(\theta) \rightarrow \min$
1	300	301.5	0.0024	301.0	0.0012	300.5	0.0021	
2	320	319.1	0.0006	319.5	0.0002	320.3	0.0006	
3	340	338.5	0.0009	339.1	0.0010	341.3	0.0012	
4	20	18.56	0.0004	20.00	0.0020	21.00	0.0006	
5	40	40.50	0.0012	39.03	0.0005	39.60	0.0008	
6	60	61.30	0.0036	61.50	0.0007	60.90	0.0014	

由于几何矩的零阶和一阶矩和 Legendre 矩是一致的, 故它们的位移和比例因子的计算是一致的, 所以表 3 给出了几何矩的旋转角度测试, 从表中可以看出, 角度误差和几何矩阶数的关系影响不大, 匹配系数 $M(\theta)$ 也显得没有规律, 随着计算阶数的提高, 测试结果并没有得到改善, 和表 2 相比, 匹配的准确度比 Legendre 矩要差.

表 4 几何矩——Legendre 矩: 旋转角度测试 ($K=10$)

测试数目	已知角度	5%		10%		15%	
		几何矩	Legend 矩	几何矩	Legend 矩	几何矩	Legend 矩
1	300	301.0	300.0	302.0	299.0	297.0	298.0
2	320	319.5	320.0	322.0	319.0	316.0	321.0
3	340	339.1	340.0	342.1	340.0	345.0	338.0
4	20	20.00	20.0	18.60	19.50	16.00	21.50
5	40	39.03	40.0	43.00	40.00	45.00	41.00
6	60	61.50	60.0	58.50	60.00	57.00	59.00
绝对值平均误差		0.655	0.000	2.000	0.416	4.000	1.416

从表 4 中的绝对平均误差可以看出,和几何矩相比,Legendre 矩配准的抗干扰能力较强,当扰动幅度较大时,旋转角度的配准仍然达到了较高的准确度。

最后,再给出一个任意图形配准的结果,图 4 为两配准图形和归一化后图形,归一化处理的 $k=0.8$,计算的 Legendre 矩或几何矩的最大阶数为 20,扰动幅度为 15%,从表 5 中可以看出,匹配结果令人满意,旋转角度的配准 Legendre 矩要明显优于几何矩。

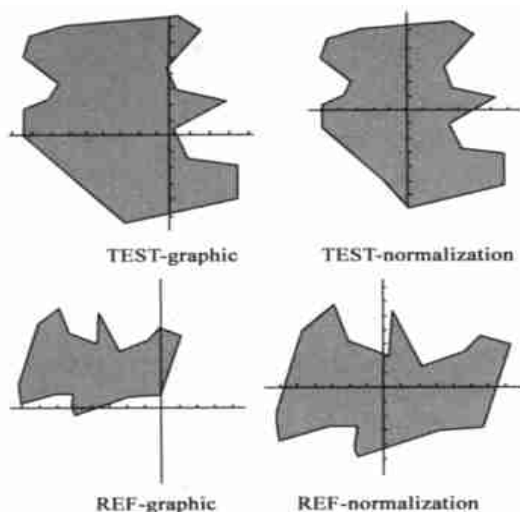


图 4

表 5 TEST REF 配准结果

测试对象	TEST	REF	已知值
质心坐标	(-23, 12)	(-38, 27)	
图形面积	8963	3703	
X 位移	-15		-15
Y 位移	15		15
比例因子	0.6428		0.66
旋转角度 (legendre)	67		67
旋转角度 (geometric)	65		

纵上所述,本文详细讨论了 Legendre 矩配准的方法和计算机模拟计算的结果,并和几何矩进行了对比,说明了 Legendre 矩和传统几何矩相比的优越性.由于采用了快速算法,40 阶矩的配准运算不超过 1 分钟.但仍然有许多的工作要做,如是否可以以上方法推广至非均匀三维图像,寻找三维非均匀 Legendre 矩的快速算法,直接用于多模态数据的配准融合,如果能够实现,无疑将提供一个全新的方法,使得配准融合更加准确。

参考文献:

- [1] M. K. Hu. Visual pattern recognition by moment invariants [J]. IRE Trans. Inf. Theory, 1962, 8(1): 179 - 187.
- [2] R. L. Wahl, L. E. Quint, R. D. Cieslak, A. M. Asisen, R. A. Koeppe,

and C. R. Meyer. Anato-metabolic tumor imaging: Fusion of FDG PET with CT or MRI to localize foci of increased activity [J]. J. Nucl. Med., 1993, 34(7): 1190 - 1197.

- [3] R. L. Wahl, L. E. Quint, R. L. Greenough, C. R. Meyer, R. I. White, and M. B. Orringer. Staging of mediastinal nonsmall cell lung cancer with FDG PET, CT, and fusion images: Preliminary prospective evaluation [J]. Radiology, 1994, 191, (2): 371 - 377.
- [4] D. N. Levin, C. A. Pelizzari, G. T. Y. Chen, C. Chen, and M. D. Coper. Retrospective geometric correlation of MR, CT, and PET images [J]. Radiology, 1998, 169: 817 - 823.
- [5] N. M. Alpert, J. F. Bradshaw, D. Kenedy, and J. A. Correia. The principal axes transformation: a method for image registration [J]. JNM, 1990, 31: 1717 - 1722.
- [6] F. I. Bookstein. Principal warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1989, 11: 567 - 585.
- [7] Charles R. Meyer, Gregg S. Leichtman, James A. Brunberg, Richard L. Wahl, and Lesli E. Quint. Simultaneous usage of homologous points, lines, and planes for optimal, 3-D, linear registration of multimodality imaging Data [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, March 1995, 14(1): 1 - 11.
- [8] Lei Dong and Arthur L. Boyer. A portal image alignment and patient setup verification procedure using moments and correlation techniques [J]. Phys. Med. Biol. 41, 1996: 697 - 723.
- [9] X. Y. JIANG and H. BUNKE. Simple and fast computation of moments, Pattern Recognition [J]. 1991, 24(8): 801 - 806.
- [10] H. Z. Shu, L. M. Luo, W. X. Yu, Y. Fu. A new fast method for computing legendre moments [J]. Pattern Recognition, 2000, 33: 341 - 348.

作者简介:



葛云 1970 年出生,现于东南大学生医系攻读博士学位,主攻方向为医学图像处理 and 计算机辅助诊断和治疗。

舒华忠 现为东南大学生物医学工程系教授,1992 年获法国雷恩大学数学专业博士学位,1995 年至 1997 年在东南大学生物和医学图像实验室从事博士后研究工作.研究工作主要包括放射治疗治疗计划优化、医学图像处理和模式识别等。

罗立民 1956 年出生,1986 年获法国雷恩大学信息处理专业博士学位.现为东南大学博士生导师、法国国家健康与医学研究院客座教授、中国电子学会生物医学电子学会副主任委员、IEEE 高级会员、国际核心刊物 IEEE 生物医学工程杂志(EMB)编委等.长期从事医学图像处理和生物医学工程研究,在国内外核心刊物发表论文 70 余篇,主持科研开发 20 多项。