

# 审图系统中的图纸一致性检测算法

李吉超<sup>1</sup>, 赵卫东<sup>1</sup>, 王树梅<sup>1,2</sup>

(1. 同济大学 CAD 研究中心, 上海 200092; 2. 徐州师范大学计算机学院, 徐州 221000)

**摘要:**在审图系统中,对报送的工程图纸扫描件和先前的电子图纸的一致性检测是一个重要环节。该文将由绘图软件(如 AutoCAD 等)绘制的以矢量形式保存的电子图纸转化为以栅格形式存储的图像文件,再利用该栅格图像文件对扫描件进行预处理,并用小波变换和计算分形维数对扫描图纸和栅格文件进行比对。实验结果表明,该算法能够很好地实现扫描图纸和栅格文件的比对。

**关键词:**去噪; 配准; 小波变换; 分形维数

## Algorithm for Consistency Checking in Drawing Audit System

LI Ji-chao<sup>1</sup>, ZHAO Wei-dong<sup>1</sup>, WANG Shu-mei<sup>1,2</sup>

(1. Research Center of CAD, Tongji University, Shanghai 200092; 2. School of Computer, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221000)

**【Abstract】** Consistency checking between the scanned drawing and the electronic drawing is one of the important steps in the flow of electronic declaring. The electronic blueprint is transformed in vector form preservation drawn up by the cartography software (AutoCAD and so on) to the image document saved by the grid form, this grid image document is used to preprocess the scanned blueprint, and finally consistency checking is carried on between the scanned blueprint and the grid document using the wavelet transformation and the computation fractal dimension. The experimental result indicates that the algorithm can realize the consistency checking between scanning blueprint and the grid document well.

**【Key words】** denoising; registration; wavelet transform; fractal dimension

在以城市规划信息技术为基础的城市规划电子报批系统中,审核报建蓝图的扫描件和原有电子图纸的一致性是其中的一个重要环节,本文提出了结合小波变换和分形维数实现图纸一致性检测的算法。在检测一致性时,用到的是图像匹配技术,目前关于图像匹配的主要研究方向有:基于灰度相关的匹配和基于特征的图像匹配,其中基于灰度相关的匹配研究工作进行得最深入,这是一种对共轭图像逐像元以一定大小的窗口的灰度矩阵按某种或几种相似性度量顺次进行搜索匹配的方法<sup>[1]</sup>,由于本文处理的工程图纸的灰度信息匮乏,所以检测的准确率不高,而且此方法的计算量大,对于大幅的工程图纸效率太低。基于特征的匹配包括特征提取和特征匹配两大步,一般提取的特征主要是边缘特征、纹理特征、信息熵特征等<sup>[2-3]</sup>,由于工程图纸的边缘、纹理等特征不明显,不能有效地进行提取。一般工程图纸具有丰富的拓扑信息,而分形理论中的分形维概念能很好地表述此信息,因此本文通过计算图纸实体的分形维作为匹配基元来解决一致性检测中图纸比对问题。

### 1 图纸预处理

#### 1.1 图纸去噪

蓝图经扫描仪输入转换为数字图像后,由于图纸上的污渍、扫描仪的阈值选择等因素,图像上会存在一些噪声,后续处理中可能将这些噪声信息当作有效目标信息从而影响比对精度,因此必须在预处理阶段把噪声从图像中消除。

由于扫描得到的数字图像是二值图,在使用一般中值滤波等基于灰度图的去噪算法时会使得大量的目标信息丢失,因此,本文提出了一种“米”字形模板统计算法,如图1所示。在目标点周围的7×7像素矩阵内,统计矩阵中标为1的像素为有效像素(即黑点)的个数,如果大于一定的阈值,此目标

点为有效点,否则为背景点(白点)。结果如图2所示。

1			1			1
	1		1			1
		1	1	1		
1	1	1	1	1	1	1
		1	1	1		
		1			1	
1			1			1

图1 去噪模板

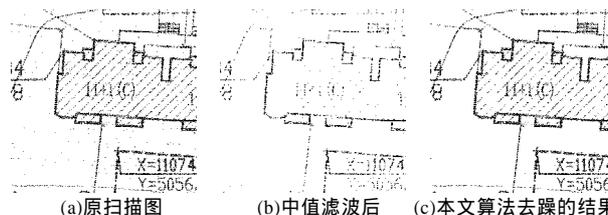


图2 图纸去噪效果

由上述处理结果可以看出,原来的蓝图在扫描过程中引入了大量的随机噪声(图2(a)),经中值滤波去噪后,在噪声去除的同时也造成了大量的有效信息的丢失(图2(b)),而经本文的去噪算法后,在去除噪声的同时很好地保留了图纸信息(图2(c))。

#### 1.2 图纸配准

纸质工程图纸在扫描后,由于与电子图纸的大小比例不

**基金项目:**上海市科学技术委员会科研计划基金资助项目“规划审核方法和数据库的建立”(052912065)

**作者简介:**李吉超(1983-),男,硕士,主研方向:图形图像处理,CAD;赵卫东,教授、博士生导师;王树梅,博士

**收稿日期:**2007-02-01 **E-mail:** jack209@163.com

一致以及扫描过程中出现的位置偏移等，因此在后续处理过程中要求两幅图纸必须对齐，在比对之前的预处理阶段先将两幅图纸配准。

本文实现的是基于最小二乘的多项式变换方法进行图纸配准<sup>[4]</sup>。

给定  $N$  个控制点  $\{(x_i, y_i), (X_i, Y_i)\}$ ，其中，小写字母代表参考图像(电子图纸)的像素坐标；大写字母代表配准图像(扫描图纸)的像素坐标。目标是确定参考图像到配准图像的变换函数  $f_x$  和  $f_y$ 。而  $f_x$  和  $f_y$  是多项式，多项式的参数由最小二乘法确定。下面以  $f_x$  为例进行说明，即假定  $f_x(x, y)$  是阶次为  $M$  的多项式：

$$f_x(x, y) = \sum_{j=0}^M \sum_{k=0}^j a_{jk} x^k y^{j-k} \quad (1)$$

对最小二乘法，参数通过最小化误差函数

$$E_1 = \sum_{i=1}^M [f_x(x_i, y_i) - X_i]^2 \quad (2)$$

来确定。这个误差函数是  $a_{jk}$  的函数，所以，为了找到使得误差最小的  $a_{jk}$ ，对误差函数求导，并令其为 0，可以得到  $(M+2)(M+1)/2$  个线性方程，通过解方程组基可求得多项式的系数，由以上算法得到的配准结果如图 3 所示。

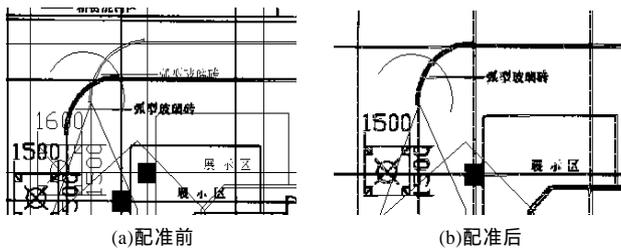


图 3 图纸配准效果

由扫描图纸和电子图纸的叠加效果可以看出，配准前两幅图纸对应位置明显存在位置偏移，经配准后，线条边框等信息的位置已基本对齐。

## 2 一致性检测算法

### 2.1 分形理论及图像分形维的计算

分形几何学对自然界出现的一些不规则的几何体给出了数学描述，其本质是“自相似”，分形集合  $F$  一般具有以下典型性质<sup>[5]</sup>：

- (1)  $F$  具有精细的结构，即具有任意小的比例细节；
- (2)  $F$  很不规则，所以无法用传统的几何语言来描述它的整体和局部特征；
- (3)  $F$  通常具有某种近似或统计的自相似的形式；
- (4)  $F$  的分形维数一般大于它的拓扑维数；
- (5) 在通常情况下，定义  $F$  的方法很简单，也可能由迭代产生。

用分形理论进行图像分析的原理是利用图像的分形维数特征进行分析。由于分形维数直观上与物体表面的粗糙度相吻合，图纸中不同物体的粗糙度有很大差别，因此可用分形维数作为判别两张图纸中对应位置的图形是否一致的参数。如何准确地估计计算分形维数成为关键。在分形中，有许多关于维数的新概念，常见的有相似维、Hausdorff 维、分形维、盒维、拓扑维数等，其中盒维由于便于实现而得到广泛应用<sup>[6]</sup>。

盒维数的定义如下：

设集合  $F \subset R^n$ ，记  $N_\varepsilon(F)$  是可以覆盖  $F$  的，边长为  $\varepsilon$  的  $n$  维立方体(记作  $\varepsilon$ -立方体)的最少个数，则  $F$  的盒维数  $D_B$  定义为(当极限存在时)：

$$D_B = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \log N_\varepsilon(F) / (-\log \varepsilon) \quad (3)$$

由于本文处理的工程扫描图纸都是二值的，根据上述定义，对二值图像计算盒维的方法为：用边长为  $\varepsilon$  的盒子去覆盖二值图像的黑色像素点集合，并统计盒子数  $N_\varepsilon(F)$ ，然后将边长和盒子数的对数即  $\log_n(\varepsilon)$  和  $\log_n N_\varepsilon(F)$  点绘在坐标上，最后对标度区间内的点，利用线性回归方法确定直线斜率，该斜率就是所求的分形维数。

### 2.2 利用小波分解简化计算

小波变换在数字图像中运用最广泛的是二维离散小波变换，即在离散小波的定义中

$$\psi_{x,y}(t) = a_0^{x/2} \psi(a_0^x t - y b_0) \quad (4)$$

取  $a_0 = 2, b_0 = 1$ ，且  $\{\psi_{x,y}(t)\} (x, y \in Z)$  构成空间  $L^2(-\infty, +\infty)$  的一组标准正交基，Daubechies 紧支集小波<sup>[7]</sup> 假设  $h_n, n = (0, 1, \dots, L-1)$  是第  $L$  号 Daubechies 小波的尺度函数的两尺度序列， $g_n$  是对应的小波函数的两尺度序列， $g_n = (-1)^{n-1} h_{-n} (n = -2L+2, -2L+1, \dots, 0, 1)$ 。由  $h(-n), g(-n)$  可以构造 4 个滤波器函数  $F_{LL}, F_{LH}, F_{HL}, F_{HH}$  实现数字图像  $f(x, y)$  的快速多尺度分解，其中， $F_{LL}$  是低通滤波器，而其他 3 个是 3 个方向上的高通滤波器。由于工程图纸的有效信息大部分集中在低频部分，因此可以用低通滤波器  $F_{LL}$  对图纸做分解得到并保留低频信息，此时图纸的尺度降为原来的 1/4，而图纸的整体特征保持不变，并有效降低了后续处理的计算量。

### 2.3 利用分形维进行图纸比对

在将扫描图纸做过去噪、缩放(缩放到与电子图纸相同大小)、配准等预处理以及小波变换之后，接下来就是利用上述的分形理论进行图纸比对，具体步骤如下：

(1) 由于处理的工程图纸尺寸较大，因此比对前将两幅图纸分别划分为多个连续  $P \times Q$  大小的区域。

(2) 取出对步骤(1)中划分的  $P \times Q$  大小的像素，利用上述的分形维计算方法分别计算两幅图纸的分形维数。在统计盒子数时，当黑色(目标像素)与盒子像素点总数比例小于一定值时，计算得到的分形维数较理论计算值偏小，本文采用李粤青等提出的改进算法<sup>[8]</sup>，引入一个参数  $h$  用来衡量某个盒子内的黑色像素点与盒子像素点总数的相对大小，即  $k/a^2$ ，其中， $k$  为盒子内黑色像素点的数； $a$  为盒子的边长，统计盒子数时只取  $h$  大于某个值的盒子进行统计，而略去那些只覆盖很少分形集点的盒子。这在本文实现的系统中能满足实际要求的，因为黑色像素点较少的地方图纸信息量较少，忽略这些地方对比对结果的影响甚小。

(3) 计算步骤(2)获得的两幅图纸的分形维数差值的绝对值，如果小于给定阈值则判定为此处为不一致，并记录位置信息用于显示，转入步骤(2)继续分别取下一段  $P \times Q$  个像素点进行计算。

## 3 结果分析

利用上述分形理论计算得到的结果如图 4~图 6 以及表 1 所示。可以看出，图 4(b)较图 4(a)多出一些图形信息，计算得出的两者之间的分形维数有较大的差值，而图 5(a)和图 5(b)的图形信息是一致的，计算得到的分形维数差值较小，通过设定一定的阈值可以检测出不一致的地方并记录其位置显示

给用户，如图 6 所示。

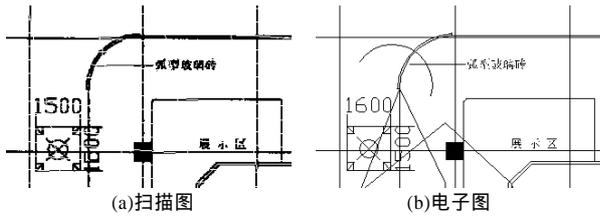


图 4 扫描图和电子图 1

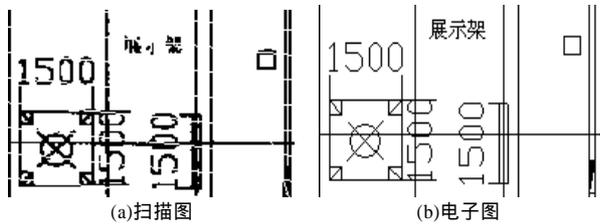


图 5 扫描图和电子图 2



图 6 比对后得到的结果

表 1 分形维数结果

图纸	分形维
图 4(a)	1.556 052
图 4(b)	1.349 824
图 5(a)	1.686 418
图 5(b)	1.750 927

## 4 结束语

本文综合利用“米”字形模板取得了很好的去噪效果，基于最小二乘多项式变换的图像配准算法解决了图纸对齐问题，小波分解有效地降低了比对的计算量，最后通过分形维的计算比较实现了图纸一致性检测的目的，本文讨论的解决方案已在上海市宝山规划局的审图系统中实现，并取得良好效果。

## 参考文献

- [1] Rafael C. Gonzalez. Digital Image Processing[M]. 阮秋琦, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] Perrier E, Tarquis A M, Dathe A. A Program for Fractal and Multifractal Analysis of Two-dimensional Binary Image: Computer Algorithms Versus Mathematical Theory[J]. Geoderma, 2006, 134(3/4): 284-294.
- [3] 聂焯, 赵荣椿, 康宝生. 基于边缘几何特征的图像精确匹配方法[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2004, 16(12): 1668-1673.
- [4] 程芳, 朱敏慧, 吴一戎. 改进的多项式图像配准方法[J]. 电子与信息学报, 2001, 23(11): 1071-1076.
- [5] Zuo Jianping, Wang Xishu. A Novel Fractal Characteristic Method on the Surface Morphology of Polythiophene Films with Self-organized Nanostructure[J]. Physica E, 2005, 28(1):7-13.
- [6] 陈永强, 陆安生, 胡汉平. 基于分形的图像分析方法总述[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(7): 1781-1783.
- [7] 石友学, 罗钟铨. 利用几何特征和小波变换实现图像的缩放匹配[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2005, 17(4): 825-828.
- [8] 李粤青, 蒋金山, 汪国强, 等. 基于分形特征的二值图像检索方法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(17): 102-104.

(上接第 276 页)

表 1 不同算法实施方案的算法选取和参数设置

实施步骤	方案 1		方案 2	
	算法	参数	算法	参数
预处理 1 (对比度增强)	灰度直方图 修正	无	分段灰度变 换	$a = 100$ $b = 200$ $c = 80$ $d = 240$
预处理 2 (图像平滑)	加权求均值 平滑	$T = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$ $\alpha = \frac{1}{16}$	不处理	无
预处理 3 (特征提取)	不处理	无	二阶导数边 缘提取	$T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ $t = 200$
匹配	模板匹配 算法	无	二值图模板 匹配	无

表 2 不同算法实施方案的仿真结果

运行结果	实时图预处理 平均运行 时间(100 次)/ms	实时图预处理 相对平均运行 时间(100 次)/ms	匹配时间 (1 次)/ms	相对匹配 时间(1 次)	匹配点在 基准图中 的坐标
方案 1	33	$9.3 \times 10^6$ 时钟周期	17 448	$48832.2 \times 10^6$ 时钟周期	(54,105)
方案 2	6	$1.7 \times 10^6$ 时钟周期	9 402	$26313.9 \times 10^6$ 时钟周期	(54,105)

## 5 结束语

基于 DSP 平台的景象匹配算法评估环境将 DSP 端的高速图像处理能力与 PC 端的人机交互特性相结合，通过采用高速物理总线和底层软件模块进行 DSP 端和 PC 端之间的数据传输，通过对底层软硬件模块的良好封装实现用户对景象匹配算法的快速评估，其评估结果与真实环境下的运行结果接近，具有较大的参考价值。

## 参考文献

- [1] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6000 Chip Support Library API Reference Guide[Z]. 2001: 101-136.
- [2] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6000 EMIF to External SDRAM/SGRAM Interface[Z]. 1999.
- [3] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6000 DSP/BIOS Application Programming Interface(API) Reference Guide[Z]. 2001: 11-23.
- [4] 田黎育. TMS320C6000 系列 DSP 编程工具与指南[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 1-676.
- [5] Bateman A. DSP 算法、应用与设计[M]. 刘志卿, 译. 北京: 机械工业出版社, 2003: 9-147.
- [6] 杨枝灵, 王开. 数字图像获取、处理及实践应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 97-577.
- [7] Windows 2000/XP WDM 设备驱动程序开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 82-108.

