

# 基于线条结构连续性约束的拼接缝优化算法

兰海滨<sup>1</sup>, 王程<sup>2</sup>, 龙腾<sup>1</sup>

(1. 北京理工大学信息科学技术学院, 北京 100082; 2. 国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:**分析了图像拼接处理中导致线条结构不连贯的原因,提出了一种引入线条结构连贯性约束的优化拼接方法。其基本思路是自动识别并定位图像边缘处的线条结构,并求出两幅邻接图像间的线条结构对应关系,利用这些对应关系对拼接图像进行局部修正。实验结果表明,该方法适用于具有明显线条特征的图像,能够有效改善拼接的局部细节。

**关键词:**图像拼接;边缘检测;连贯性约束

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A

## Algorithm of switch line adjustment based on the continuity restriction of linear structures

LAN Hai-bin<sup>1</sup>, WANG Cheng<sup>2</sup>, LONG Teng<sup>1</sup>

(1. Department of Information Science, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Department of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the discontinuity in the switch lines in image mosaic, we propose a novel optimization algorithm of switch line adjustment based on the continuity restriction of line structures. The processing includes: automatic extraction of linear structures at the border of the switched images; calculate the correspondence between the linear structures in adjacent images; adjust switch lines based on the continuity restriction of linear structures. The experiments demonstrated that the proposed algorithm can improve the switch line of image mosaic.

**Key words:** image mosaic; edge detection; continuity restriction

### 1 引言

线条结构是大幅面图纸的重要特征,也是图纸中信息的关键体现。理想的大幅面图纸录入结果中应该保证线条的连贯性关系。但在实际的拼接处理中经常无法保证线条结构连贯性和相互关系。主要有以下一些原因:

(1)使用的相机不是标准的摄影测量相机,而是变焦的普通相机,从而不可避免地存在较大的畸变校正误差。

(2)大幅面图纸的拍摄是利用多行列二维拍摄的图像序列得到的,需要在全局进行误差调整,为了保证全局的误差较小,可能导致局部的匹配误差较大。

(3)在匹配和拼接中使用了平面约束等约束条

件,在某些局部可能出现不适合,导致误差增大。

传统拼接缝消除算法<sup>[1-2]</sup>无法解决拼接的错位问题。近来研究较多的最佳拼接缝方法<sup>[3-5]</sup>也未考虑拼接中线条结构的连贯性问题。

为了缓解这一问题,本文提出引入线条结构连贯性约束的优化拼接方法。其基本思路是自动识别并定位图像边缘处的线条结构,并求出两幅邻接图像间的线条对应关系,利用这些对应关系对拼接图像进行局部修正。该方法适用于具有明显线条特征的图像,能够有效改善拼接的局部细节。

本文首先介绍如何在图像中提取线条特征,然

**作者简介:**兰海滨(1975-),男,高级工程师,在读博士,主要研究方向为图像处理。E-mail:shore\_blue@163.com

**收稿日期:**2009-02-26

后介线条绍如何利用连贯性约束进行局部优化,最后给出了实验结果。

## 2 线条结构特征自动提取

结构特征自动提取主要包括以下几个步骤:首先,求每个像素的边缘强度和边缘相位;其次,根据边缘信息对图像进行初始编组,得到初始的线状区域划分以及直线参数;最后,通过高层编组在较大尺度上优化线状区域的范围。

### 2.1 图像的边缘算子

本文采用 Canny 算子提取图像边缘。Canny 算子具有信噪比高、定位性能好、对单一边缘仅有唯一响应等特点,对噪声有一定的抑制作用,提取的边缘方向信息准确,运算量适中。其表达式近似于高斯函数的一阶导数。设  $G(x, y)$  为二维高斯函数,对图像  $f(x, y)$ ,由 Canny 算子得到的边缘强度为:

$$C(x, y) = |\nabla G * f(x, y)| \quad (1)$$

边缘方向为:

$$n = \nabla G * f(x, y) / |\nabla G * f(x, y)| \quad (2)$$

每个线条都是在背景下的两条边缘组成的,要对每个一线条得到一个响应需要对边缘提取进一步建模。

在 Canny 算子的基础上提出以下带有方向性的钟型边缘算子。边缘的方向为:

$$n = \nabla G * f(x, y) / |\nabla G * f(x, y)| \quad (3)$$

边缘的强度为:

$$C(x, y) = |\nabla B * f(x, y)| \quad (4)$$

其中,函数  $B$  为: $B(x, y) = R(G(x, 0), n)$ 。

这里  $R(f, \theta)$  的定义是对函数  $f$ ,围绕原点进行旋转角度  $\theta$ 。

通过以上钟形边缘算子对原图进行边缘提取,作为下一步的输入。

### 2.2 边缘编组

包括初始边缘编组和高层编组。初始边缘编组的目的是将图像中相邻且相位值接近的像素归为一组,这样就形成了初始的线状区域。初始编组的基本思路与实现方法在文献[6]中有详细的论述,这里不再重复。在初始边缘编组算法中,大量的计算集中在图像标记问题的求解上,本文采用了文献[7]提出的快速图像标记算法。在得到线状区域后,通过最小二乘法拟合得到对应的直线段参数。然后通过高层编组方法进一步完善提

取的线状区域和直线图。高层编组方法首先分析直线间的相互关系,得到可能扩展的直线区域,之后通过统计假设检验对候选区进行筛选,得到最终的直线图。与以往的直线图后处理方法<sup>[8-9]</sup>不同的是,本文的高层编组方法把原始图像中像元的统计信息和从已知的直线集中获取的信息相结合,指导直线图的连接和延拓,降低了虚警率。具体做法如下:

已经得到的直线集记为  $S, S = \{s_0, s_1, s_2, \dots, s_N\}$ ,  $N$  为直线的数量。 $S$  中的每个元素包含若干属性,包括端点位置、对应区域的边缘方向、对比度、宽度和直线两侧的灰度值等。可能扩展的线状区域集记为  $F, F = \{f_0, f_1, f_2, \dots, f_M\}$ 。 $F$  是通过连接  $S$  中的直线对得到的。选定  $F$  的过程就是选定  $S$  中有可能连接的直线对的过程。可能被连接的直线对应该具有以下的特点:

(1) 两条直线端点之间距离应该小,即近似于首尾相接;

(2) 两条直线之间的夹角应该小。

由此定义  $S$  中任意直线对  $(s_i, s_j)$  的连接强度为:

$$C_{ij} = \begin{cases} w_0 \cdot d_{ij} + w_1 \cdot a_{ij}, & d_{ij} < T_d, a_{ij} < T_a \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $d_{ij}$  为  $s_i$  与  $s_j$  的端点间最小距离;  $a_{ij}$  为  $s_i$  与  $s_j$  的边缘方向的夹角;  $w_0, w_1$  为加权系数;  $T_d$  是可以容忍的最大直线端点间距离;  $T_a$  是可以容忍的直线边缘方向的最大夹角。

利用  $C_{ij}$  选择可能扩展的直线区域,并对  $S$  中的直线对按照连接强度进行排序。在实际中可以每次先选取连接强度最强的直线区域参加下一步的假设检验。

### 2.3 直线参数的分解计算

由线状区域拟合直线的方法很多,但是以往的方法都需要通过两次以上的扫描才能实现,我们使用了通过一次扫描就可以实现的直线拟合算法。其主旨是将拟合的所有参数分解为可以累加的集合数值特征。新的拟合方法是以加权最小二乘拟合为基础的,优化的目标函数是:

$$D = \sum_{(x_i, y_i) \in S} \frac{w_i (Kx_i - y_i + B)^2}{(K^2 + 1)} \quad (6)$$

其中,  $w_i$  是加权系数;  $K$  和  $B$  是待求的直线参数;  $x_i$  和  $y_i$  分别是像素的坐标。最小化目标函数,

得到:

$$K = \frac{a \pm \sqrt{a^2 + 4b^2}}{2b}, B = \frac{m_{01}}{m_{00}} - K \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad (7)$$

$$a = m_{02} - m_{20} + \frac{m_{10}^2 - m_{01}^2}{m_{00}}, b = m_{11} - \frac{m_{10}m_{01}}{m_{00}};$$

$$m_{pq} = \sum_{(x_i, y_i) \in S} w_i x_i^p y_i^q$$

其中,  $m_{pq}$  是集合的加权矩, 是可以累加的集合数值特征。

为了得到描述集合的直线段, 还有两个问题要解决。一是确定  $K$  的真实解, 二是确定直线段的端点。记  $P_{\max}, P_{\min}, P_{\max y}, P_{\min y}$  为集合的  $x$  最大值点,  $x$  最小值点,  $y$  最大值点和  $y$  最小值点。  $K$  的真实解对应的直线到四个极值点的距离之和应该小于  $K$  的虚解对应的直线到四个极值点的距离之和。由此可以确定  $K$  的真实解。  $K$  小于 1 时, 由  $P_{\max}$  和  $P_{\min}$  的  $x$  值确定直线的两个端点; 大于 1 时, 由  $P_{\max y}$  和  $P_{\min y}$  的  $y$  值确定直线的两个端点。极值点具有广义的累加性。比较各个子集的极值点, 就可以得到总连通集的极值点。至此, 直线段的所有参数都用具有累加性的集合数值特征求出。

### 3 基于线条结构连续性约束的局部优化

在匹配结果的引导下, 可以得到图像拼接时的变换关系。但是由于各种原因导致的局部误差, 直接体现为线条结构的连贯性发生了断裂, 如图 1 所示。

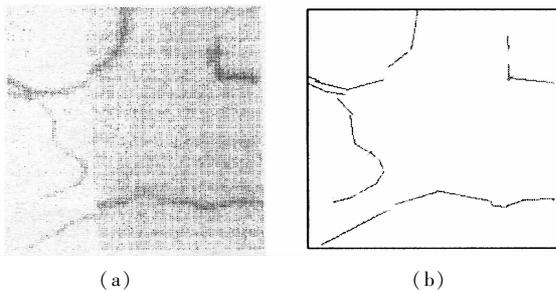


图 1 初始拼接中出现的线条结构断裂

利用上节的方法提取的线条特征可以用于消除这一局部误差。具体步骤如下:

- (1) 在两幅要拼接的图像中寻找共同边缘处的线条结构;
- (2) 建立线条结构的对应性关系;
- (3) 计算保持线条结构连贯所带来的局部校正, 并对局部重采样得到无线条断裂的拼接。

步骤(1)已经在上文中介绍了。以下详细介绍后两个步骤。

#### 3.1 建立线条结构的对应性关系

采用最近邻方法。

#### 3.2 计算保持线条结构连贯所带来的局部校正

求匹配线条结构带来的局部校正变换关系。图 2 为线条结构断裂点的示意图。

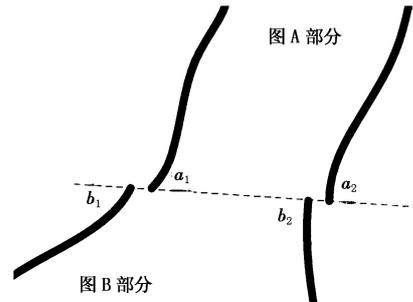


图 2 断裂点示意图

图中的  $a_1$  点和  $b_1$  点,  $a_2$  点和  $b_2$  点是断裂的两个端点, 建立局部校正的目的就是通过局部校正  $T$  使  $a_i$  点和  $b_i$  点的位置重合。

对于图 A 部分的像素进行如下变换:

$$T_a(n) = \sum_i \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x_i \cdot G_{m_i, \sigma}(n) \\ 0 & 1 & \Delta y_i \cdot G_{m_i, \sigma}(n) \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中,  $n$  为图像 A 中的一个像素;  $m_i$  是  $a_i$  和  $b_i$  的中心点:

$$m_i = (a_i + b_i) / 2 \quad (9)$$

$(\Delta x_i, \Delta y_i)$  是从  $a_i$  到  $m_i$  的偏移矢量:

$$(\Delta x_i, \Delta y_i) = a_i - (a_i + b_i) / 2 \quad (10)$$

$G_{m_i, \sigma}(n)$  是以  $m_i$  为中心, 以  $\sigma$  为中心的高斯函数。

同样的对于图 B 部分有:

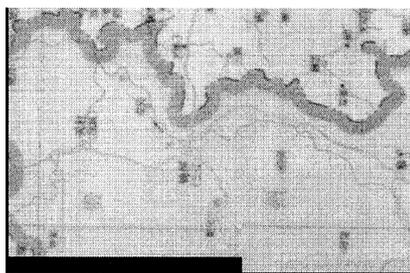
$$T_b(n) = \sum_i \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\Delta x_i \cdot G_{b_i, \sigma}(n) \\ 0 & 1 & -\Delta y_i \cdot G_{b_i, \sigma}(n) \end{bmatrix} \quad (11)$$

利用以上变换对图像进行重采样, 可以消除由于配准误差带来的线条结构断裂的问题。

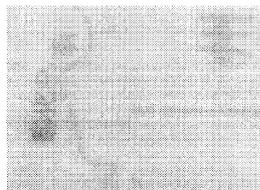
### 4 实验结果

使用普通数字相机拍摄两幅图像, 按照前面介绍的方法对两幅图像的拼接进行优化处理, 图 3 是部分结果。

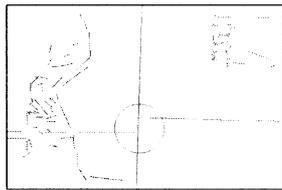
在图 3(c) 中虚线表示两幅被拼接图像的分界线, 圆圈标识的是检测出的线条断裂点。从图 3 可以看到, 未经优化的图像中存在明显的线条结构断裂, 影响了拼接质量。经过优化处理后断裂被消除。



(a) 配准后的拼接图像



(b) 拼接图像局部放大



(c) 局部图像线条提取结果



(d) 纠正后的局部图像

图3 线条结构连贯性优化处理

## 5 结论

本文提出了一种引入线条结构连续性约束的拼接优化方法。其基本思路是自动提取出线条结构断裂的位置,并通过局部几何变换进行优化。实验结果表明这一方法可以适用于具有明显线条特征的图像,能够有效改善拼接的局部细节。

在实验中也出现了不成功的例子,主要原因是在图像的拼接缝(中央位置)附近虽然存在明显的断裂,但是由于比较杂乱,没有明显的线状结构,因

此没有提取到有效的断裂点对,导致了优化处理失败。这反映了算法的局限性,在今后的研究中将予以改进。

## 参考文献:

- [1] 朱述龙,钱曾波. 遥感影像镶嵌时拼接缝的消除方法[J]. 遥感学报,2002,6(3):183-187.
- [2] 解凯,郭恒业,张田文. 图像 Mosaics 技术综述[J]. 电子学报,2004,4(4):630-634.
- [3] 葛仕明,程义民,等. 基于梯度场的拼接缝消除方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2007,19(2):227-232.
- [4] Uyttendaele M, Eden A, Szeliski R. Eliminating ghosting and exposure artifacts in image mosaics [C]//Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hawaii, 2001: 509-516.
- [5] Zomet A, Levin A, Peleg S. Seamless image stitching by minimizing false edges [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(4):969-977.
- [6] Burns J B, et al. Extracting straight lines [J]. IEEE Trans Patt Anal Machine Intell, 1986, PAMI-8:425-455.
- [7] Wang Cheng. Line extraction in SAR images based on a combined edge operator [C]//SPIE proceeding of 3rd International Asia-Pacific Environmental Remote Sensing Symposium, Hangzhou, China, 2002:145-149.
- [8] Merlet N, Zerubia J. New prospects in line detection by dynamic programming [J]. IEEE Trans. Pattern Anal Machine Intell, 1996, 18(4):426-431.
- [9] Tupin F. Detection of linear features in SAR images: application to road network extraction [J]. IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36(2):434-453.