

基于主动轮廓线模型的配准方法

何 乔¹, 李二森², 罗继文¹, 张 华¹

(1. 93920 部队, 陕西 汉中 723213; 2. 解放军信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052)

摘要: 随着地图修测的迫切需要, 如何实现影像与地图的精确配准就成为急需解决的问题。虽然多项式模型的配准方法简单直观, 但不能满足高精度地图修测的需要。目前影像与矢量图的配准靠人工实现, 不容易准确测量, 这越来越成为地图修测中全自动空中三角测量的瓶颈。而主动轮廓线模型通过模板自身的弹性形变, 与图像局部特征相匹配达到调和, 即某种能量函数极小化, 从而实现矢量图与影像的精确配准。因此, 提出了一种基于 B 样条 Snake 模型分割的高精度配准方法。

关键词: 主动轮廓线模型; B 样条 Snake 模型; 多项式纠正

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1671-3044 (2007) 04-0028-03

1 引 言

主动轮廓线模型 (active contour models) 又称 Snake models, 原始的 Snake 模型是 Kass 等人于 1987 年提出的。Snake 模型的基本思想很简单, 它以构成一定形状的一些控制点为模板 (轮廓线), 通过模板自身的弹性形变, 与图像局部特征相匹配达到调和, 即某种能量函数极小化, 完成对图像的分割。再通过对模板的进一步分析而实现图像的理解和识别。

使用主动轮廓线模型目标跟踪的用途十分广泛。本文主要介绍主动轮廓线模型怎样实现矢量图与高分辨率影像的精确配准。选用的主动轮廓线模型是 B 样条 Snake 模型, 从计算机图形学可知, B 样条曲线仅需要少量的控制点就可以柔和剧烈变化的曲线。而且每一个控制点的移动仅引起一段曲线变化, 不会影响整体形状。

2 多项式模型整体粗配准及 B 样条 Snake 匹配方法

2.1 多项式模型整体粗配准

多项式模型的整体配准在于确定矢量地图和高分辨率遥感影像的几何关系, 实现二者的粗配准, 本文采用二次多项式进行整体粗配准, 其公式为:

$$\begin{aligned} x &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 XY + a_4 X^2 + a_5 Y^2 \\ y &= b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 XY + b_4 X^2 + b_5 Y^2 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, (X, Y) 和 (x, y) 分别为配准前后的坐标; a_i, b_i 为粗配准系数, 采用人机交互的控制点选区方法从

参考影像上量取控制点实现, 利用 5 个以上的控制点即可以解算出配准系数。一般情况下, 整体粗匹配可利用 4 个控制点, 选用一阶仿射变换模型达到影像与矢量图粗匹配的要求。

2.2 B 样条 Snake 匹配方法

Kass 等将 Snake 的内部势能定义为如下形式, 即:

$$E_{\text{int}}(v(s, t)) = \int_0^1 |v_s|^2 ds + \int_0^1 |v_{ss}|^2 ds \quad (2)$$

式中, $|v_s|^2 = |\partial v / \partial s|^2 = |v_i - v_{i-1}|^2$; $|v_{ss}|^2 = |\partial^2 v / \partial s^2|^2 = |v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}|^2$; 一阶项 $\int_0^1 |v_s|^2 ds$ 的作用是使得 Snake 受力时抗伸缩; 二阶项 $\int_0^1 |v_{ss}|^2 ds$ 的作用是使得 Snake 受力时抗弯曲; 权 $\int_0^1 |v_s|^2 ds$ 所起的作用是调节 Snake 的伸缩力, 相当于弹簧的弹性系数; $\int_0^1 |v_{ss}|^2 ds$ 是调节 Snake 的刚性, 相当于物体的刚性系数; $v_i(s)$ 与 $v_{ss}(s)$ 都是位置的函数。Snake 位置与曲率的非连续性是通过 $v_i(s)$ 与 $v_{ss}(s)$ 置零得到的。

从 $|v_s|^2$ 的表达式可以看出: Snake 的内部势能 $E_{\text{int}}(v)$ 中的连续性约束实际上就是 Snake 上相邻两点之间距离的平方和。在优化求解过程中, 需要使 Snake 的总能量不断减小, 则求解过程总是试图缩短 Snake 上的点间距。在某些情况下 (图像比较均匀、平缓), 由于这个约束的作用, 可能会使 Snake 上的部分点都缩到一点。因此, 采用这项约束不是很恰当。本文采用对连续性约束进行改进的方法, 即: 利用 $|v_i - v_{i-1}| / d_0$, 在给定两个种子点进行线性提取时, d_0 就是在两点间进行内插时使用的点间距。

收稿日期: 2006-08-22; 修回日期: 2007-04-22

作者简介: 何 乔 (1979-), 男, 四川渠县人, 硕士研究生, 主要从事数字摄影测量与航测质量控制技术研究。

一般情况下,权系数 $\lambda_1(s)$ 可设置为 1。

$|v_{is}|^2$ 是平滑性约束项,即对 Snake 的曲率的约束。采用 $|v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}|^2$ 作为第 i 点曲率的合理估计的前提是要求 i 与 $i+1$ 点和 $i-1$ 点之间的距离相等。由于在给定两个种子点的情况下,确定种子点之间的内插点时已要求点间距相等,故将其作为 v_i 点曲率的估计是合理的。在利用 Snake 方法提取影像中的目标时,人工给定的种子点一般都是选择在目标的轮廓线上曲率较大的点附近,处理过程开始时,首先计算各个种子点处的曲率的初始值 C_i^0 ,在处理过程中,需要计算各个种子点移动后的当前曲率值,将当前曲率值与该点的曲率初始值差的平方作为该点的平滑性约束,即: $|C_i - C_i^0|^2$ 。其中种子点的曲率值可以按下式计算:

$$C_i = |u_i \wedge u_{i+1}| - |u_{i-1} \wedge u_i|$$

式中, C_i 为第 i 点曲率的当前值; u_i 为第 i 点 v_i 与第 $i-1$ 点 v_{i-1} 构成的向量。在种子点移动窗口范围内计算出种子点曲率的变化最大值 $\max |C_i - C_i^0|^2$, 则种子点处的平滑性约束项的权系数 $\lambda_2(s)$ 可以设置为曲率变化最大值的倒数。

$$E_{\text{int}} = \lambda_1(s) \left| \frac{(v_i - v_{i-1})}{d_0} \right|^2 + \lambda_2(s) |C_i - C_i^0|^2 \quad (3)$$

改进后的内部势能函数为:

$E_{\text{Field}}(v)$ 取决于影像特征的约束,影像约束是指对影像的灰度与梯度的约束。影像中每一点的灰度和梯度都是一个值域为 $0 \sim 255$ 的整数,由影像的灰度与梯度直接构成能量时,需要加入权函数对这种特征的作用进行调节。本文对梯度和灰度约束的能量设计如下:灰度约束就是对线特征灰度值的约束。线特征上的灰度分布在一局部范围内应该具有一定的连续性,即有:

$$E_{\text{Grey}} = \int_{s_i} [G_{\text{rey}}(x, y) - Gm_i]^2 ds \quad (4)$$

式中, E_{Grey} 为灰度约束能量; $G_{\text{rey}}(x, y)$ 为线特征上点 (x, y) 处的灰度值; s_i 为 Snake 曲线上的一小段弧线; Gm_i 为 s_i 的平均灰度, Gm_i 可由下式计算:

$$Gm_i = \frac{\int_{s_i} G_{\text{rey}}(x, y) ds}{|s_i|} \quad (5)$$

式中, $|s_i|$ 为弧段长度。

梯度约束取决于线状特征上的梯度值,当沿线特征的梯度均值为最大时,梯度约束的能量最小。其公式表示如下:

$$E_{\text{Gradient}} = 1 - \frac{K_{\text{Gradient}}}{C_n} \int_s \text{Gradient}(x, y) ds \quad (6)$$

式中, E_{Gradient} 为梯度约束能量; $\text{Gradient}(x, y)$ 为轮廓线上 (x, y) 处的梯度值; K_{Gradient} 为对梯度约束能量值进行调节的常数,对于 256 灰阶的影像, $K_{\text{Gradient}} = 1/255$; C_n 为 Snake 上的总点数。

外部约束引起的势能 E_{ext} 是由高水平处理机制或人工施加的一些外部约束力引起的势能,它能保证 Snake 在运行过程中不会陷入某些局部最小点(如孤立的噪声点)或逃离某些可靠的特征点(如建筑物角点)。

在未考虑外部约束力作用的情况下,改进后的 Snake 总能量表示为以下的形式,即:

$$E_{\text{Snake}} = \alpha E_{\text{int}} + \beta E_{\text{Grey}} + \gamma E_{\text{Gradient}} \quad (7)$$

式中, α 、 β 和 γ 分别为对三项能量进行调节的权,它们不仅可以调节各项约束的比例,还可以对是否加入某项约束进行控制,如:当不需要考虑某项时,只需要将该项前的系数设置为零。一般地,三个权值均给为 1。

3 实验步骤及结论

实验中采用由人工给定两个种子点的算法提取两种子点之间的线特征。假设两个种子点的坐标为 (X_{s1}, Y_{s1}) 和 (X_{s2}, Y_{s2}) , 加入了 n 个内插点以后,表示 Snake 初始位置的坐标序列为 (X_{s1}, Y_{s1}) 、 (x_0, y_0) 、 (x_1, y_1) 、 \dots 、 (x_{n-1}, y_{n-1}) 、 (X_{s2}, Y_{s2}) 。以这个坐标序列为基础,既可利用优化算法进行线特征提取,具体步骤如下:

(1) 给定 Snake 初始位置。设初始位置由 n 个初始点表示,对于 Snake 上每个起始点,将 $\lambda_1(s)$ 与 $\lambda_2(s)$ 设置为 1,并将 E_{min} 设置为一个较大的值;而 α 、 β 和 γ 应根据所提取的线特征的实际情况设定。

(2) 对 Snake 上的每一点,在以该点为中心的一定大小的窗口内,计算这一点在窗口内每一点时 Snake 的能量值,即:

$$E_j = \alpha E_{\text{int},j} + \beta E_{\text{Grey},j} + \gamma E_{\text{Gradient},j} \quad (8)$$

式中, $j=0, 1, 2, \dots, m-1$; m 为窗口中像元的个数。

(3) 若 $E_j < E_{\text{min}}$, 则 $E_{\text{min}} = E_j$, 并将当前点移到 j 所对应的位置。

(4) 计算下一次迭代计算时的曲率极大值。对 Snake 上每一点计算曲率值,即:

$$C_i = |u_i \wedge u_{i+1}| - |u_{i-1} \wedge u_i| \quad (9)$$

式中, C_i 为第 i 点的曲率; u_i 为第 i 点 v_i 与第 $i-1$ 点 v_{i-1} 构成的向量。若 Snake 上这一点的曲率大

于一定的值,并比它相邻的两个点的曲率大,影像在该点的边缘强度也大于一定的值,则该点的 γ_2 (s)置零。

检查 Snake 的总能量 E_{Snake} 是否与上次相同,若相同,则停止迭代,否则转向步骤 (2),继续进行迭代计算。

在优化计算收敛后,可以对得到的坐标序列进行检验,若满足共线条件,则可以用一条直线对这些点进行拟合,否则,就以原始的坐标序列表示提取的轮廓线。

根据上面的方法进行了试验,取得了较好的结果。实验中选取了矢量地图中的道路数据为初始轮廓线,配准前的初始道路轮廓线如图 1 所示,配准后的道路曲线如图 2 所示。



图 1 道路的初始轮廓线

通过实验证明,该方法是完全实现线状矢量数据与影像的精确配准的,然后再以配准后的线状矢量数据的节点,建立不规则三角网对落入每个三角

形内的矢量数据进行仿射变换计算,仿射变换参数通过三角形的 3 个顶点解算,最终实现整幅矢量地图与影像的高精度配准,从而为全自动的地图修测提供帮助。



图 2 配准后的显示

参考文献:

- [1] 李培华,张田文.主动轮廓线模型(蛇模型)综述[J].软件学报,2000,11(6):751~757.
- [2] 李天庆,张毅,刘志,等.Snake模型综述[J].计算机工程,2005,31(9):1~3.
- [3] 邱海波,王化祥,梁志伟.一种新的 B-Snake 算法在目标轮廓跟踪中的应用[J].中国图像图形学报,2005,10(5),585~589.
- [4] 李熙莹,倪国强.一种自动提取目标的主动轮廓法[J].电子学报,2002,31(5):606~610.
- [5] 孙开敏,陈艳,李德仁.地形图数字化栅格影像的变形几何纠正关键算法研究[J].测绘信息与工程,2005,(3):40~41.

The Method of Collocation Based on the Active Contour Model

HE Qiao¹, LI Er-sen², LUO Ji-wen¹, ZHANG Hua¹

(1. 93920 Troops, Hanzhong, Shaanxi, 723213;

2. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou, Henan, 450052)

Abstract: Along with the urgent requirement of the map revision, how to achieve precise collocation between the image and the map has become a very important problem that we should resolve. Although the collocation method of polynomial model is very simple and direct, it couldn't meet the need of high precision of map revision. In addition, now we usually carry out the collocation between the image and the vectorgraph manually and it is difficult to measure exactly, so this problem has become a choke point in the process of auto aerial triangulation. However, the active contour model uses template's stretch deformation to attempt the local feature matching on the image. With this method we can achieve the precise collocation between the image and the vectorgraph. Thereby, in this paper, a method of high precision collocation based on the B-spline Snake model is advanced.

Key words: active contour model; B-spline Snake model; polynomial correction