

Snakes 模型在卫星图片道路提取中的应用

丁美林, 李光耀, 张巧芳

(同济大学 CAD 研究中心, 上海 201804)

摘要:航空影像中自动提取道路已经成为了一个研究热点,并提出了大量的提取算法,然而道路网的自动提取仍然是件具有挑战性的任务。文中介绍的 Snakes 模型(基于主动轮廓模型)对于卫星影像中道路提取具有很好的效果。该方法分为道路初始条件的获取阶段和利用初始条件进行道路网跟踪处理阶段,而文中着重分析后面一阶段,且道路网的跟踪处理是在初始条件的基础上完成的。最后通过实验证明,该方法能正确清晰地提取出主干道,并且对于道路弯曲轮廓的提取也非常有效。

关键词:道路提取;Snakes 模型;跟踪处理;卫星影像

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)01-0071-03

Application of Road Extraction in Satellite Images Based on Snakes Model

DING Mei-lin, LI Guang-yao, ZHANG Qiao-fang

(CAD Research Center, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Extracting road automatic from aviation images is one of the hot problems in some fields, and it has many extraction algorithms. But how to extract the road network automatic is also a very challenging task. Introduce the Snakes model (Based on the active contour model) to extract road, and have a good effect in satellite images. The method has two stages: the stage of obtaining the initial conditions of the road and the stage of using the initial conditions to track and process the road network. Analyse the second stage mostly. Then it can using the initial condition to finish the road network tracking and processing. According to experiment, this method can extract the major artery clearly and correctly, it can also extract the bend of road effectively.

Key words: road extraction; Snakes model; tracking and processing; satellite image

0 引言

出于地理信息系统(GIS)的发展需要,航空影像中自动提取道路已成为了一个研究热点,并提出了大量的提取算法。

目前的研究,首先要进行基本的边缘检测,然后进行道路边缘连接,继而进行道路跟踪处理,最终形成道路网。图像的边缘包含图像中大量的有用信息^[1],然而在边缘检测时,易受局部噪声影响而产生虚假边缘,或者是间断边缘,无法保证分割或者提取的结果是连续光滑的,这些是传统计算机视觉中分层处理模型所无法解决的问题。文中研究的 Snakes 模型采用另外的策略进行道路边缘提取,通过将影像的各种特征及连续性平滑性约束在一个能量函数中,通过求能量

函数的最小值来提取道路边缘^[2]。

1 直线 Snakes

近年来 Snakes 模型在图像分析及计算机视觉等领域的应用很广泛,包括边缘检测、形状建模、分割和运动跟踪^[3]。然而,需要提出的是,传统 Snakes^[4]存在一些问题,如需要人为给定轮廓的初始概略位置,因此,提出了直线 Snakes 方法。

设有图像 $f(x, y)$, 由集合 L 表示为

$$L: \{l_i \mid A_i(x, y), B_i(x, y), \nabla l_i, \theta_{l_i}, f_{l_i}, i = 1, 2, \dots, N\}$$

其中 l_i 表示第 i 个直线段,其端点坐标为 $A_i(x, y)$, $B_i(x, y)$, ∇l_i 表示直线平均梯度, θ_{l_i} 为直线方向, f_{l_i} 为直线平均灰度。其 Snakes 能量函数为:

$$E_{\text{snake}} = \sum_{i=1}^n (E_{\text{int}}(l_i) + E_{\text{ext}}(l_i))$$

式中 E_{int} 表示轮廓内部能量, E_{ext} 表示外部约束能

收稿日期:2009-03-26;修回日期:2009-06-15

作者简介:丁美林(1986-),女,安徽芜湖人,硕士研究生,研究方向为计算机仿真、图像处理;李光耀,研究员,博士生导师,研究方向为仿真、图像处理等。

量^[5]。

对于直线段组成的物体轮廓的提取,直线 Snakes 具有明显的优势:较高的计算效率、较好的稳定性和鲁棒性。

2 道路的自动提取

利用 Snakes 模型进行道路提取,主要包括:道路初始条件的获取阶段和利用初始条件进行道路跟踪处理阶段。

文中在此对前阶段并不多加详述。

2.1 道路 Snakes 模型的能量函数设计

(1) 内部能量函数设计。

传统 Snakes 模型内部能量函数为: $E_{\text{int}} = E_{\text{cont}} + E_{\text{curv}}$ 。 E_{cont} 和 E_{curv} 分别称为连续能量和平滑能量,其设计如下:

连续能量 E_{cont} 的离散形式为: $E_{\text{cont}} = |v_n - v_{n-1}|$ ^[6], v_n 和 v_{n-1} 为一条边缘线上相邻的两个控制点,然而在模型收敛过程中有可能造成控制点堆积到一起。因此对两条边缘线做整体考虑,其改进的连续能量定义为: $E_{\text{cont}} = \bar{d} - |v_n - v_{n-1}|$, \bar{d} 是所有 Snakes 控制点的平均距离,定义如下:

$$\bar{d} = \frac{1}{2N} \left(\sum_{i=0}^{N-1} |v_i - v_{i-1}| + \sum_{i=0}^{N-1} |v'_i - v'_{i-1}| \right)$$

为了平衡各项能量的影响,要对各项能量进行归一化。 E_{cont} 归一化形式为:

$$E_{\text{cont}} = \frac{|\bar{d} - |v_{n,j} - v_{n-1,j}||}{\max\{\bar{d} - |v_{n,j} - v_{n-1,j}|\}}$$

平滑能量 E_{curv} 的离散形式为:

$$E_{\text{curv}} = |v_{n-1} - 2v_n + v_{n+1}|^2$$

其归一化形式为:

$$E_{\text{curv}} = \frac{|v_{n-1} - 2v_n + v_{n+1}|^2}{\max\{|v_{n-1} - 2v_n + v_{n+1}|^2\}}$$

综合上面的能量表达式,内部能量函数定义如下:

$$E_{\text{int}} = \alpha \cdot E_{\text{cont}} + \beta \cdot E_{\text{curv}}$$

式中, α 和 β 是各能量项选定的权值参数。

(2) 外部能量函数设计。

定义好内部能量函数的设计后,要使 Snakes 向目标收敛,还要根据图像特点定义外部能量。

设集合 P 表示一条边缘线上相邻两个控制点形成的直线段组;集合 \bar{F} 和 \bar{G} 表示直线平均灰度组和直线平均梯度组。

(a) 直线段灰度和梯度均匀性。

在每次开始新一轮迭代优化前,计算两条边缘线上所有直线段的平均灰度值:

$$\bar{f} = \frac{1}{2(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} (\bar{f}_i + \bar{f}_i')$$

对于控制点 v_n 所连接的两条直线段(p_{n-1}, p_n)而言,灰度均匀性能量函数定义为:

$$E_{\text{gray}} = \left| \frac{1}{2} (\bar{f}_{n-1,j} + \bar{f}_{n,j}) - \bar{f} \right| \quad (j = 1, \dots, M)$$

其中, M 为迭代区域大小,归一化后为:

$$E_{\text{gray}} = \frac{\left| \frac{1}{2} (\bar{f}_{n-1,j} + \bar{f}_{n,j}) - \bar{f} \right|}{\max\left\{\left| \frac{1}{2} (\bar{f}_{n-1,j} + \bar{f}_{n,j}) - \bar{f} \right|\right\}}$$

与灰度均匀能量函数类似,梯度均匀性的定义如下所示:

$$\bar{g} = \frac{1}{2(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} (\bar{g}_i + \bar{g}_i')$$

然后定义梯度均匀性能量函数公式:

$$E_{\text{grad}} = \left| \frac{1}{2} (\bar{g}_{n-1,j} + \bar{g}_{n,j}) - \bar{g} \right| \quad (j = 1, \dots, M)$$

最后进行归一化:

$$E_{\text{grad}} = \frac{\left| \frac{1}{2} (\bar{g}_{n-1,j} + \bar{g}_{n,j}) - \bar{g} \right|}{\max\left\{\left| \frac{1}{2} (\bar{g}_{n-1,j} + \bar{g}_{n,j}) - \bar{g} \right|\right\}}$$

(b) 梯度幅值。

道路边缘位置是梯度幅值最大的地方,由此可吸引 Snakes 轮廓线收敛到正确的道路边缘位置^[7]。梯度幅值能量函数定义为:

$$E_{\text{edge}} = \left| \sum_{j=1}^p g_j \right| \quad (j = 1, \dots, P)$$

进行归一化后为:

$$E_{\text{edge}} = \frac{\left| \min \left| \sum_{j=1}^p g_j \right| - \left| \sum_{j=1}^p g_j \right| \right|}{\max \left| \sum_{j=1}^p g_j \right| - \min \left| \sum_{j=1}^p g_j \right|}$$

综上所述,外部能量函数定义如下:

$$E_{\text{ext}} = \mu_1 E_{\text{gray}} + \mu_2 E_{\text{grad}} + \mu_3 E_{\text{edge}}$$

2.2 Snakes growing 算法

传统 Snakes 模型存在一些缺点,尤其对初始条件比较苛刻。为此 Berger 等人提出了 Snakes growing (蛇行生长)的方法来解决模型初始化和数值解的稳定性等问题^[8]。

对一条初始的轮廓线优化后进行分割,且只允许那些具有较低能量的段保留,形成一组初始化轮廓线序列 $\text{Cont}_1, \dots, \text{Cont}_n$ 。Snakes growing 算法的具体步骤如下:

1) 以 l^0 表示接近边缘的初始化轮廓线作为算法的起始;

2) 对 l^0 进行 Snakes 模型迭代优化,产生边缘线 C^0 。分解轮廓线 C^0 ,保留能量较低的轮廓段 C_i^0 , i 表示每一段的标示;

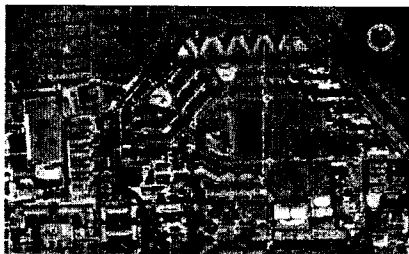
3) 如果边缘线轮廓线 C_i^k 满足延伸条件,则沿着

C_i^k 切线方向延伸得到初始轮廓 l_i^{k+1} , 并对 l_i^{k+1} 进行 Snakes 模型优化, 得到边缘线 C_i^{k+1} ;

4) 上述迭代过程可由初始轮廓段一端开始也可以在两端同步进行, 当满足停止条件时, 迭代过程结束, 否则, 转向步骤 3), 继续迭代扩展。

3 实验结果

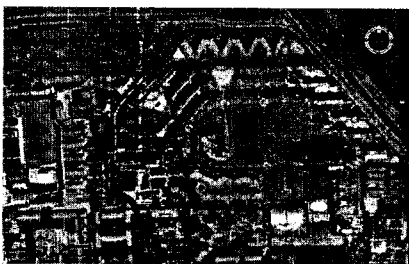
测试的结果如图 1 所示。图 1(a)是中国某城市的航空数字图像, 其图像顶部有几条主道路(图像来源于 Google map)。



(a) 原图像



(b) 初始平行线对



(c) 道路边缘提取结果



(d) 局部放大道路边缘线

图 1 进行道路 Snakes 实验结果

在得到初始平行线对后, 利用 Snakes 模型进行道路网的跟踪处理, 最终的结果如图 1(c)所示。而图 1(d)是对图 1(c)进行了局部放大, 其中的绿点表示道路边缘控制点。在此实验中, 各参数值为 $\alpha = 0.1, \beta = 0.6, \mu_1 = 0.7, \mu_2 = 0.9, \mu_3 = 1$ 。

从图中可看出大部分主干道都能正确清晰的提出, 而且从局部图中可知, 道路弯曲部分的控制点比较密, 这使得能更好地提取出弯道的轮廓。

4 结束语

文中主要针对卫星影像中的道路自动提取做了研究, 提出了基于 Snakes 模型的方法, 并且完成了影像的道路提取。

不过文中的工作还有很多不足。例如在能量函数迭代时, 要设置的参数较多, 这就相应地降低了自动化程度。文中所介绍的算法比较适合主干道的提取, 而次干道由于很难形成平行线对, 所以还不能很好地提取出其道路特征。另外对算法的准确性、运行效率等可以有进一步的改进。

参考文献:

- [1] 谭海峰, 赵文杰, 李德军, 等. 一种提取 SAR 图像边缘的改进算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(4): 22-24.
- [2] 李天庆, 张毅. Snakes 模型综述[J]. 计算机工程, 2005, 31(9): 2-3.
- [3] 余健仪, 郑胜林, 潘保昌, 等. 基于改进的 snake 模型的嘴唇轮廓提取[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(8): 95-97.
- [4] 李昕彦, 孙祥, 张小虎. 基于 Snakes 改进模型的图像目标测量[C]//第十一届全国实验力学学术会议, 庆祝中国力学学会实验力学专业委员会成立 26 周年论文集. 大连: [出版者不详], 2005.
- [5] Grigorescu C, Petkov N, Westenberg M A. Contour Detection Based on Nonclassical Receptive Field Inhibition[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(7): 729-739.
- [6] Eviatar H, Somorjai R L. A fast simple active contour algorithm for biomedical images[J]. Pattern Recognition Letter, 1996(17): 969-974.
- [7] Amini A A, Weymouth T E, Jain R C. Using dynamic programming for solving variational problem in vision[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(9): 855-867.
- [8] 唐亮, 谢维信, 黄建军, 等. 直线 Snakes 及其在建筑物提取中的应用[J]. 西安电子科技大学学报, 2005, 32(1): 4-6.
- [9] [C]//WiCom 2007. [s.l.]: [s.n.], 2007: 1685-1688.
- [7] 于斌, 孙斌, 温暖, 等. NS2 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 1-2, 133-169.
- [8] 王辉. NS2 网络模拟器的原理和应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2008: 1-5.

(上接第 70 页)

- [6] Lee HongKi, Kim YongWoo, Song JooSeok. AOZDV: An Enhanced AODV Protocol based on Zone Routing in MANET