

# 基于遗传算法的 SAR 图像自动道路提取

贾承丽<sup>1)</sup> 赵凌君<sup>1)</sup> 吴其昌<sup>2)</sup> 匡纲要<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (国防科技大学电子科学与工程学院三系,长沙 410073) <sup>2)</sup> (北京市遥感信息研究所,北京 100085)

**摘要** 为了有效地进行 SAR 图像道路目标自动提取,提出了一种基于遗传算法的 SAR 图像道路目标自动提取方法。该方法首先通过 Frost 滤波器去相干斑;然后利用乘性 Duda 线特征检测算子进行线特征检测,接着利用 Radon 变换进行线基元提取,再利用遗传算法进行线基元连接;最后利用蛇模型调整道路位置并进行道路鉴别。在星载和机载 SAR 图像上进行的实验以及性能定量评估结果证明了该方法的有效性。

**关键词** SAR 图像 道路提取 遗传算法 线基元提取

中图法分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)06-1134-09

## Automatic Road Extraction from SAR Imagery Based on Genetic Algorithm

JIA Cheng-li<sup>1)</sup>, ZHAO Ling-jun<sup>1)</sup>, WU Qi-chang<sup>2)</sup>, KUANG Gang-yao<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (School of Electronic Science and Engineering, NUDT, Changsha 410073)

<sup>2)</sup> (Remote Sensing Information Research Institution, Beijing 100085)

**Abstract** This paper proposes a new approach for automatic extraction of roads from SAR imagery based on genetic algorithm. We first suppress the speckle by Frost filter, then detect line feature pixels to get potential road pixels. Followed that, extract primitive line segments by Radon transform on every set of connected pixels, and use genetic algorithm to group line segments to get the candidate road segments. Finally, The snake model is used to adjust the position of the candidate road segments in order to make road segments discrimination using the road's linear feature more effective. We show the feasibility of the approach not only by presenting reasonable results on airborne and spaceborne SAR images but also by evaluating them quantitatively based on ground truth.

**Keywords** SAR imagery, road extraction, genetic algorithm(GA), primitive line segment extraction

## 1 引言

随着各种信息的不断数字化及 GIS 的广泛应用,从图像上检测和记录数字地图信息的研究已引起广泛的关注。在过去,这些信息都是手工记录,需要花费大量的人力。而使用计算机自动完成这个任务,则可以加速这一过程,并可快速更新、显示及传输信息。

近年来,合成孔径雷达(SAR)遥感技术有了很

大的发展,它是一种主动式微波遥感。由于 SAR 克服了光学遥感受天气和光照条件的影响,可以对目标实现全天候、全天时的观测,因此,从 SAR 图像中检测和记录数字地图信息变得越来越重要。

道路是图像上一种重要信息,因为它相对于其他地物特征(如建筑物等)变化较慢,故本文将重点放在 SAR 图像道路目标的提取上。一般地,道路在图像上呈现以下特征:较长、较连续、具有较小的曲率、较大的锐度、相对均匀的灰度值,以及与周围环境有较大的对比度等。但是事实上,对于具体的道

路来说,通常不会具有上述所有的特征。道路边界可能因被其他目标干扰而变得模糊,由于背景和路面的灰度值可能非常接近,树或阴影也可能会破坏边界的连续性,这使得道路提取的问题变得非常复杂。

道路网在高分辨率和低分辨率图像上表现不同,即在低分辨率图像上,道路呈线状,而在高分辨图像上,道路则表现为具有一对平行边缘的长条状。事实上,分辨率太高,细节太多反而会造成干扰,不利于道路提取。因此本文主要研究低分辨率 SAR 图像上的道路提取,而高分辨 SAR 图像可以通过降分辨率先得到低分辨图像,然后再利用本文的方法提取道路。

本文开发了一种基于遗传算法的自动道路提取方法,该方法通过以下一系列操作来完成道路提取:(1)去相干斑;(2)进行线特征检测;(3)线基元提取;(4)基于遗传算法的线基元连接;(5)蛇模型调整及道路鉴别。在步骤(4)中,借鉴 Jeon 等人的方法<sup>[1]</sup>,即先使用遗传算法(genetic algorithm, GA)连接线基元,然后用接近性和共向性两个因素构造 GA 的适应度函数,同时引入区域生长的概念,将最可能是道路的线段作为种子点,并从该线基元开始搜索,每次连接操作仅考虑种子点周围区域的线基元,而不是同时考虑所有的线基元。本文同样采用遗传算法进行线基元连接,但在 Jeon 等人提出的方法的基础上做了以下改进:(1)在对染色体进行编码时,将种子点的编码固定为 1,而不是随机分配,以避免种子点被错误的连接方案连接;(2)改进适应度函数的定义,即在适应度函数中对线段共线的限制条件更加完备,而 Jeon 等人的方法由于仅使用两个共线判断因素来设计适应度函数,因而容易造成错误连接。

## 2 基于 GA 的遗传算法道路提取

### 2.1 去相干斑

由于 SAR 图像固有的相干斑噪声,干扰了道路目标的提取,也增加了道路提取的难度,因此,本文首先采用 Frost 算法<sup>[2]</sup>进行去相干斑处理。

### 2.2 线特征提取

由于道路在 SAR 图像上呈现为一条黑色的线状地物,因此可采用线特征检测算子检测<sup>[3]</sup>来得到线特征幅度图及二值图。

### 2.3 基于 Radon 变换的线基元提取

根据前面对道路模型的假定,由于道路为直线段或近似为直线段,因此可以以线段作为中层符号。当从上面得到线特征点之后,下一个任务就是将线特征点组织成描述道路的中层符号——线基元。

定义线段的存储结构为

$$PL = (\theta, \rho, x_B, y_B, x_1, y_1, x_2, y_2) \quad (1)$$

如图 1 所示,其中 $(\theta, \rho)$ 是以图像中心为原点的极坐标, $(x_B, y_B)$ 为图像中心到线段所在直线上的投影点。线段的两个端点坐标为 $(x_1, y_1)$ 和 $(x_2, y_2)$ ,以图像的左上角为坐标系原点。

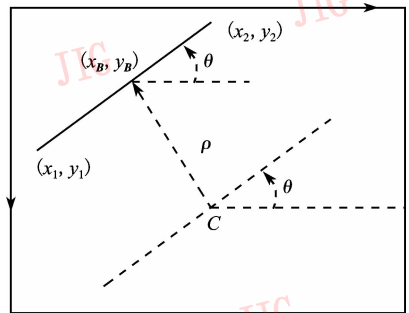


图 1 线基元参数信息示意图

众所周知, Radon 变换是一种常用的提取直线的方法,用它可以将图像上的一条直线映射到极坐标系下的一点。一般情况下是对全图进行 Radon 变换,或者将全图均匀分割成小块进行 Radon 变换,这些方式对在图像上非常显著且数量较少的直线较为有效,而对于错综复杂的道路网却很难得到较好的效果。本文采用一种新的思路来利用 Radon 变换完成线段提取<sup>[4]</sup>。该方法具体步聚如下:

(1)按从上到下、从左到右的顺序寻找线特征幅度图上的连通区域,假定得到一块区域,设其像素集为 $\{p_i\}$ ;

(2)取出包含该区域所有像素的最小窗口,记为 $W$ ,再通过对这个窗口进行 Radon 变换来得到系数矩阵 $M_i$ ;

(3)将 Radon 变换最大值所对应的直线扩展到 3pixels 宽,作为掩模,以便将 $W$ 中所有不在该掩模上的点全部去除,先得到 $\hat{W}$ (这样可以得到潜在线段的端点);然后对 $\hat{W}$ 中的像素用最小二乘拟合来得到线基元,并按式(1)记录该线基元。

为了减少 Radon 变换中线特征点之间的相互影响,以保证最好的提取精度,在提取与 Radon 系数最

大值对应的线基元之后,不是继续处理下一个最大值,而是对余下的像素集重新计算 Radon 变换,即重复步骤(2)和步骤(3)。这个过程一直进行到 Radon 变换系数的最大值小于两个像素累加所对应的值为止。此时,像素集  $\{p_i\}$  所有有用的线特征点都被转化为线基元。再重复步骤(1)、步骤(2)、步骤(3),直到图像上不再存在未处理的连通区域。设得到的整个图像上的线基元集合为  $\{PL_i\}$ 。

### 2.4 基于 GA 的道路提取

上述提取的线基元集合  $\{PL_i\}$  中不仅包含道路上的线段,也包含其他的线状目标,如建筑物等造成的虚假干扰目标。同时,由于相干斑噪声的影响和树木、建筑物等的遮挡,加之阴影和道路表面的车辆等引起的线特征的断裂以及局部地区的弱对比度等,使得原本应为一条的道路线段断裂为若干条线基元,但是这些线基元具有明显的共线特征。因此如何将同一条道路段上的线基元连接起来,就成为道路目标提取的关键。如果能够将这些线基元连接起来,再根据道路段一般较长的特征进行筛选,就能够得到候选道路段。为了得到最优的连接,本文采用 GA 来进行优选。

#### 2.4.1 基于 GA 的线基元组织

GA 是以自然选择和自然遗传机制为基础,通过选择、交叉和变异等操作,并按照优胜劣汰,适者生存的原则,根据适应度大小不同来使个体生存或淘汰,以便经过若干代之后达到搜索到最优个体的目的。本文将线基元集作为 GA 的输入,通过 GA 的最优搜索来找到共线线基元,并将其连接起来。

如果一次性将所有的线基元作为 GA 的输入,那么由于计算量太大,也容易陷入局部最小值,因此本文按照所谓“区域生长”的方式进行,即首先选择图像中最有可能是道路的线段,由于道路一般较长,可认为最长的线段最可能是道路,故可以首先从线基元集合中选择最长的线段作为初始的种子点;然后在种子点线基元的左右两端分别取与种子点的角度差小于角度门限  $T_{angle}$  且端点最近距离小于距离门限  $T_{dist}$  的所有线基元作为搜索区域(如图 2 所示);最后将种子线基元和搜索区域内的线基元作为 GA 运算的输入。

利用 GA 进行线基元组织需要解决的主要问题包括:定义染色体、确定适应度函数以及选择遗传算子。

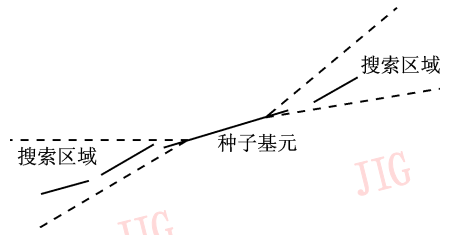


图 2 当前种子基元的搜索区域

Fig. 2 Search region of the current seed

#### (1) 定义染色体

染色体采用二进制编码方式。假设搜索区域有  $n$  个线基元,则染色体长度为  $n$ 。如图 3 所示,本文规定染色体的第 1 位代表种子基元,为保证种子基元始终被连接,种子基因位必须取值为 1,其余基因位随机取值为 0 或 1,0 表示该线基元不能与种子基元连接,1 表示可以连接。其后在计算适应度时,只考虑基因位为 1 的线基元。

线段序号	1	2	3	4	5	6	·	·	·	M
染色体	1	0	1	0	0	0	·	·	·	1

图 3 一个染色体编码示例

Fig. 3 A chromosome

#### (2) 设计适应度函数

可按照线段共线准则设计适应度函数。两条线段的连接标准为

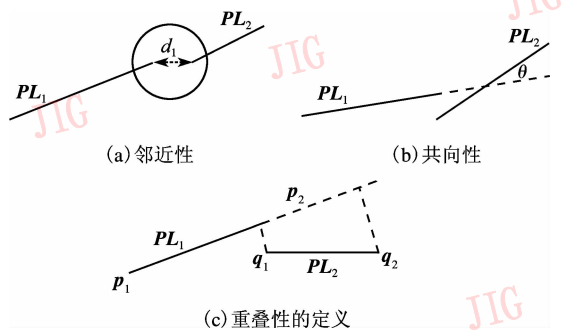


图 4 线段连接标准示意图

Fig. 4 Line linking criterion

①邻近性 如图 4(a) 所示,假设两线段  $PL_1$  和  $PL_2$  的长度分别为  $l_1$  和  $l_2$ ,端点间的最短距离为  $d_1$ ,两线段长度之和为  $Sum$ ,即  $Sum = l_1 + l_2$ ,则邻近性的概率函数定义为

$$P(d_1) = \begin{cases} 1 - \frac{d_1}{Sum} & d_1 \leq Sum \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

②共向性 如图 4(b)所示,共向性可定义为两直线所夹锐角  $\theta$  的函数

$$C(\theta) = \begin{cases} 1 - \theta \times 16/\pi & \theta \in [0, \frac{\pi}{16}] \\ 0 & \theta > \frac{\pi}{16} \end{cases} \quad (3)$$

③重叠性 如图 4(c)所示,设两直线的端点已经排序,点  $p_1$  和  $q_1$  分别是两线段  $PL_1$  和  $PL_2$  的左侧端点,从点  $q_1$  向  $PL_1$  垂直投影,垂足到点  $p_2$  的距离  $d_2$  表示两直线的重叠程度。这一特征的概率函数定义为

$$O(d_2) = \begin{cases} 1 - \frac{d_2}{Sum} & d_2 \leq Sum \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

④长度 线段长度反映了线段提取的可信程度,因此也应该作为两线段可连接的标准之一。但是由于线段的绝对长度并无实际的意义,所以本文取线段的相对长度作为评价标准,即该线基元的长度除以线基元集合中最长的线基元长度

$$l_i^{relative} = l_i / \max_j \{ l_j \} \quad (5)$$

设计的适应度函数是由邻近性、共向性、重叠性、长度这 4 个因素构成的。假定一条染色体中所含的基因位为 1 的数量为  $N$ ,则适应度为

$$F = \sum_{i=1}^N f_i / N \quad (6)$$

其中,  $f_i$  为第  $i$  个基因位为 1 的线基元与其他所有的基因位为 1 的线基元的共线性、邻近性、重叠性、长度 4 个共线准则和的最大值,即

$$f_i = \max_j (\alpha C_{i,j} + \beta P_{i,j} + \gamma O_{i,j} + \delta l_i^{relative}) \quad (7)$$

在本实验中,  $\alpha = 1.0, \beta = 0.5, \gamma = 0.5, \delta = 0.5$ 。这样设定权值是为了优先保证方向差较小。

由于本文算法设定种子点的基因位为 1,因此,当染色体中出现仅有种子点对应的基因位为 1 的情况时,则赋予该染色体的适应度一定的值,这个值是种子点的相对长度的函数,以保证在种子点的周围不存在可以连接的线段时,GA 输出是正确的。

### (3)确定遗传算子

在 GA 中,群体的进化是在遗传算子的作用下完成的,最主要的遗传算子有选择算子、交叉算子和变异算子。在遗传算法的每一代,可先直接选择出当代群体中适应度较高的半数个体,并让它们的复本参与交叉运算,而交叉运算得到的新个

体与原来适应度较高的半数个体合起来就得到一个新群体;然后通过对新群体进行变异操作就得到下一代群体。其中,交叉运算采用双点交叉的方法,即对参与交叉运算的染色体进行随机配对,并对每一对染色体随机设置两个交叉点位置,同时交换配对染色体的两交叉点之间的基因值。变异运算采用单点变异,即对每个染色体编码串以变异概率  $p_m$  随机指定某一基因位上的基因值做取反运算。

将 GA 输出的与最大适应度值所对应的个体中的基本位为 1 的线基元集记为  $\{PL_i^{Connected}\}$ ,由于它们是通过 GA 得出的最优线基元组合,因此可以将它们连接起来。为了进一步保证连接的准确度,需要再对这些线基元进行共线验证。

对于每一条线基元,它的极坐标  $(\theta, \rho)$  都被记录了下来(参见式(1))。理想情况下,同一直线上的线基元应该具有相同的极坐标。在定义适应度函数时已经利用了线基元的角度  $\theta$ ,在这里将  $\rho$  作为验证元素之一,即

$$\text{条件 1: } |\rho_{PL_i} - \rho_{PL_j}| < T_\rho \quad (8)$$

其中,  $PL_i, PL_j \in \{PL_i^{Connected}\}, T_\rho$  为自设门限值。

$$\text{条件 2: } E < T_E \quad (9)$$

其中,  $E$  为拟合误差的概率分布函数值。如图 5 所示,将两条直线最远的两个端点连接起来,设另外两个端点到该连线的垂直距离分别为  $d_3$  和  $d_4$ ,则拟合误差定义为它们的最大值,即  $d_{max} = \max(d_3, d_4)$ 。拟合误差的概率分布函数定义为

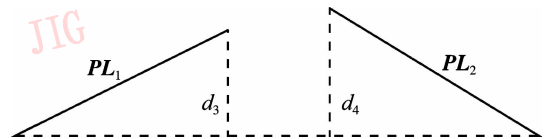


图 5 拟合误差的定义

Fig. 5 Fiting error

$$E(d_{max}) = \begin{cases} 1 - \frac{d_{max}}{Sum} & d_{max} \leq Sum \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

先将通过条件 1 和条件 2 验证后的线基元与种子基元连接起来,作为新的种子点,同时在线基元集合  $\{PL_i\}$  中去除被连接的所有线段,重复上面的步骤,直到种子点不再生长,并将该种子线基元作为一条候选的道路段存储;然后再从剩余的线基元集合中寻找最长的线基元作为种子点,重复

上面的步骤,产生另一条候选的道路段。这个过程一直进行到线基元集合中最长的线基元的长度  $l_{PL_{max}}$  小于门限  $T$  为止。为了尽可能搜索到所有的道路段,对上述的搜索结束门限  $T$  设置得较小,使得许多短线都被作为可能的道路段保留下来。根据道路模型,道路一般较长,故长度小于一定门限的候选道路段可以认为是虚警,可去除,即得到候选道路集合  $\{Road_i^{Candidate}\}$ 。整个基于 GA 的线基元连接过程如图 6 所示。

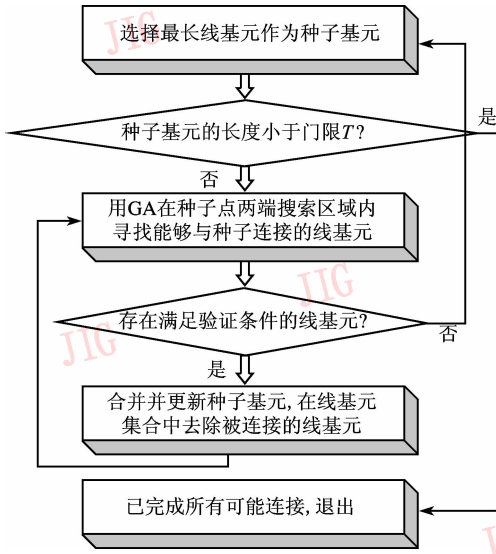


图 6 基于 GA 的线基元连接流程图

Fig. 6 Primitive Line segment linking flowchart

#### 2.4.2 蛇模型调整候选道路段的位置

由于线基元拟合、连接过程中的累积误差,致使所得的候选道路段的位置不可避免地会发生一些偏移,很有可能会偏离了道路段原来的位置。为了保证道路提取结果的位置准确性以及有利于下一步的鉴别,可将候选道路集合  $\{Road_i^{Candidate}\}$  中的道路段作为蛇模型<sup>[5]</sup>的初始位置,而将第 2 节中线特征幅度图作为外部能量,使用蛇模型来调整道路段的位置。调整后的道路段由原来的直线表示变为曲线表示,设该集合为  $\{Road_i^{Candidate-curve}\}$ 。

#### 2.4.3 道路鉴别

由于蛇模型调整后的候选道路段中仍有可能存在很多虚警道路,在这一步中要对集合  $\{Road_i^{Candidate-curve}\}$  中的道路段进行鉴别,以进一步确认道路段。造成道路虚警的可能原因是:

(1) 由于在提取线基元时, Radon 变换是在每个连通区域上进行的,且对于成片树林区域,它们的边

缘没有明显的线特征,但是却具有错综复杂的连通性,而 Radon 变换认为峰值点总是对应一条直线,因此会提取出虚警的线基元。

(2) 其他地物特征的边界(如建筑物等)。

由于道路具有非常明显的黑色线特征,并且上一步中通过蛇模型调整了道路的位置偏移,使在线基元连接过程中的位置偏移得到修正,这样表征道路的线段就与图像上的道路吻合得较好,因此与正确道路段对应的点在线特征幅度图上的均值应该远远大于虚警道路段。根据这一特征对候选道路段进行鉴别,可以去除大部分虚警。至此,得到了所有的道路段  $\{Road_i\}$ 。

### 3 实验结果及性能分析

在星载 RadarSat 9m 分辨率图上进行了实验,图 7 给出了整个算法过程。图 7(a) 是香港地区入海口 SAR 图像,图像尺度为  $310 \times 310$ ,从该图像中可以看出,道路在图像上呈黑色细线,1~3 pixels 宽。图 7(b) 为线特征检测结果;图 7(c) 为线基元提取结果,提取的线基元用白色表示,并附加于原图之上,共有 2 337 条线基元;图 7(d) 为基于 GA 的线基元连接结果,共提取出 11 条候选道路段,参数设置为  $T_{angle} = \pi/16$ ,  $T_{dist} = 20$ ,种群中染色体的个数为 60,最大迭代代数为 200,  $p_m = 0.067$ ,  $T_p = 20$ ,  $T_E = 0.95$ ,  $T = 10$ ;图 7(e) 为利用蛇模型调整位置并鉴别后的道路提取结果,可见,经过蛇模型调整后道路的位置更加准确了,并使得鉴别非常有效,去除了所有的虚警道路段。

图 8 是手工提取的道路参考图,可通过图 7 与图 8 相比对来评估本文算法提取道路的性能。如果定义一条道路被提取出 2/3 的长度即可认为道路被提取出来,则道路提取的统计数据如表 1 所示。表 1 中对应一条真实道路的提取道路段数为 1,就说明 1 条真实道路对应一条提取道路,即提取的道路无断裂。

表 1 道路提取结果统计表

Tab. 1 Statistics of road extracted

正确识别的道路数 (number of roads correctly extracted)	7
虚警道路数 (number of roads incorrectly extracted)	0
漏警道路数 (number of roads missed)	0
对应一条真实道路的提取道路段数 (number of segments per true road)	1

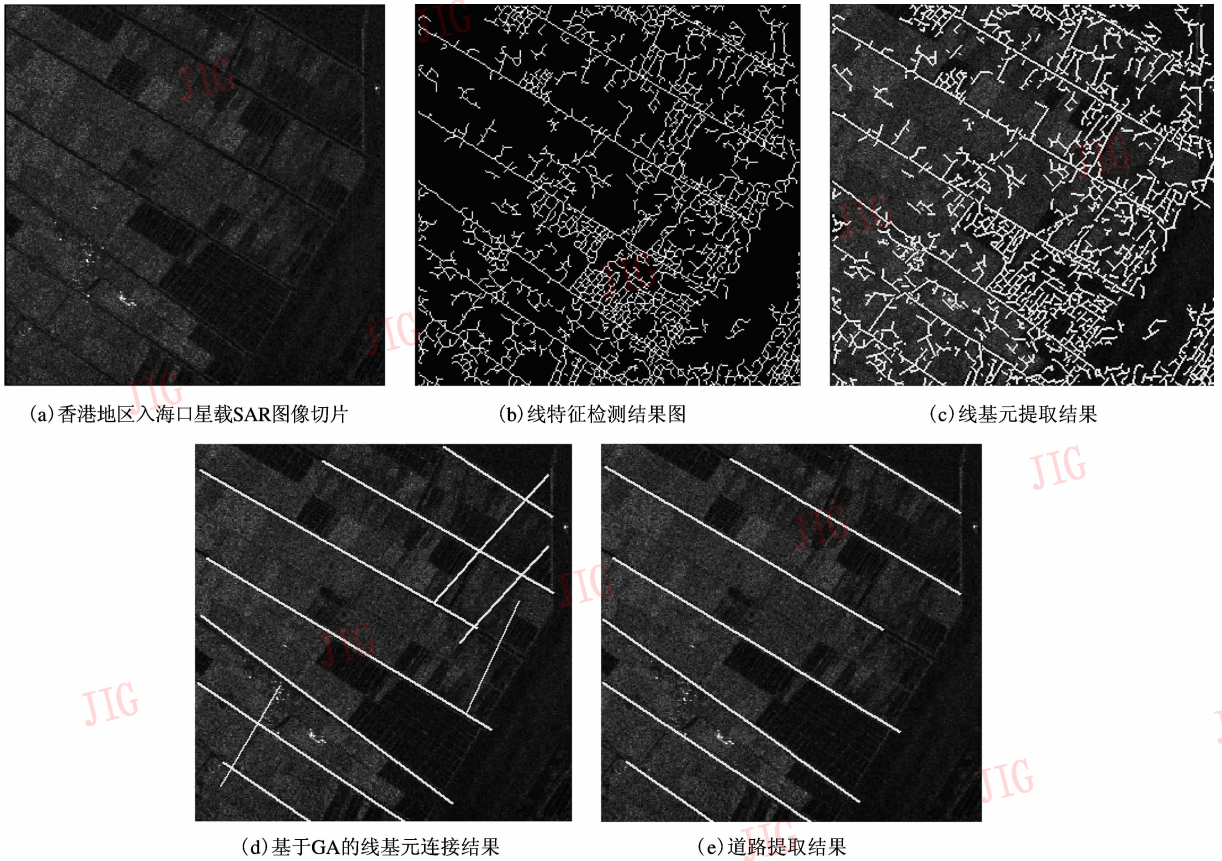


图 7 整个算法过程

Fig. 7 The procedure of the whole algorithm

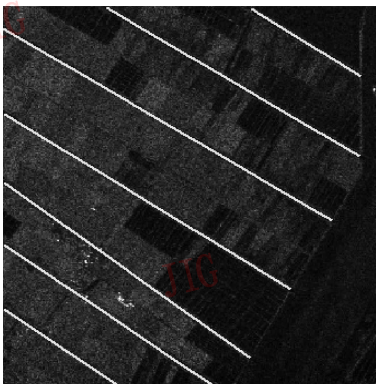


图 8 参考道路

Fig. 8 Reference road

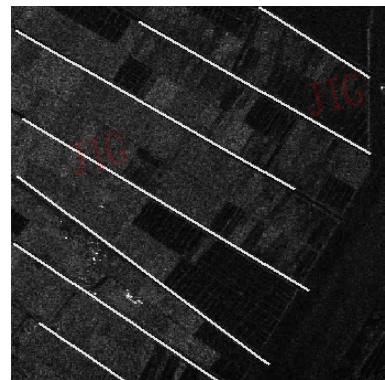


图 9 图 7(e) 在未经蛇模型调整前的道路位置

Fig. 9 Road of Fig. 7(e) before adjusted by snake model algorithm

表 1 是从道路段的角度来对提取结果进行统计分析的,为了能够从道路点的角度进行分析,本文将本文算法提取的道路与参考道路相互匹配(如图 10 所示)。为评价本文算法的提取效果,根据参考文献[6],定义以下评估准则:

(1) 完整性

$$K_{\text{completeness}} = \frac{l_{\text{TF}}}{l_{\text{TF}} + l_{\text{FF}}} \in [0, 1]$$

完整性表示与提取的道路相匹配的参考道路的长度  $l_{\text{TF}}$  与参考道路长度  $l_{\text{TF}} + l_{\text{FF}}$  的百分比,它表征有多少真实道路(参考道路)点被提取的道路表示出

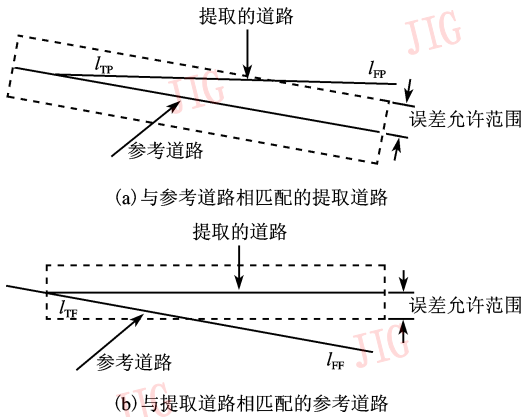


图 10 匹配方法示意图

Fig. 10 Matching principle

来,其最优值为 1。

### (2) 正确性

$$K_{\text{correctness}} = \frac{l_{\text{TP}}}{l_{\text{TP}} + l_{\text{FP}}} \in [0, 1]$$

正确性表示正确提取的道路 (true positive, TP) 长度占总提取道路长度的百分比,也就是所提取的道路落在参考道路误差允许范围内的部分的长度  $l_{\text{TP}}$  与全部的提取道路 (包括不匹配的提取道路 (false positive, FP) 总长度之比,其最优值为 1。

### (3) 提取质量 $Q$

$$Q = \frac{l_{\text{TP}}}{l_{\text{TP}} + l_{\text{FP}} + l_{\text{FF}}} \in [0, 1]$$

提取质量是对提取结果好坏的一种评估指标。它同时考虑了完整性和正确性,其最优值为 1。

### (4) 几何精度

$$\text{RMS} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^l d(\text{Road}_{\text{extr}_i}, \text{Road}_{\text{ref}})^2}}{l} \in [0, \text{误差允许范围}]$$

$d(\text{Road}_{\text{extr}_i}, \text{Road}_{\text{ref}})$  为匹配的提取道路段  $\text{Road}_{\text{extr}_i}$  与参考道路  $\text{Road}_{\text{ref}}$  的最近距离

由于 RMS 表征了提取的道路段与参考道路段之间的平均距离,因此表征了提取道路数据的几何精确度。它的值与设置的匹配误差允许范围有关,其最优值为 0。

### (5) 漏警率

漏警率定义为未被提取出的参考道路长度与参考道路总长度之比。

### (6) 虚警率

虚警率定义为未能与参考道路相匹配的道路长

度 (即不正确提取的道路) 与提取道路的总长度之比。

计算这几个指标值,采取的具体计算方法为:

(1) 对提取的道路图和参考道路图分别进行形态学膨胀,窗口取值为  $7 \times 7$ 。

(2) 取参考道路数据与膨胀后提取的道路数据的交集,即得到与提取的道路相匹配的参考道路 (TF) 以及不匹配的参考道路数据 (FF) (如图 10(b) 所示)。

(3) 取提取的道路数据与膨胀后的参考道路数据的交集,即得到与参考道路数据相匹配的提取道路数据 (true positive, TP) 和不匹配的提取道路数据 (false positive, FP) (如图 10(a) 所示)。

(4) 根据  $l_{\text{TF}}$ 、 $l_{\text{FF}}$ 、 $l_{\text{TP}}$ 、 $l_{\text{FP}}$  计算道路提取的完整性、正确性、质量和冗余度。

(5) 对与参考道路数据相匹配的提取道路进行距离变换,并取参考道路数据与上述距离变换的平方的交集,通过计算交集的均值,并开平方根,即得到 RMS。

表 2 蛇模型调整对道路提取性能的影响

Tab. 2 The effect of Snake model adjusting

单位: %

	本文方法的提取结果	未经蛇模型调整的提取结果
完整性	94.34	93.79
正确性	99.33	98.83
提取质量	93.67	92.69
几何精度	7.26	8.91
漏警率	5.66	6.21
虚警率	0.67	1.17

根据上面给出的 6 个指标,用本文的方法得到的道路提取结果的性能指标值列于表 2 中的第 1 列。

为了能够看出蛇模型对道路提取所起的作用,本文直接取图 7(e) 在图 7(d) 中所对应的道路段 (如图 9 所示), 计算上述 6 个指标值, 其计算结果见表 2 的第 2 列。由表 2 可以看出, 经过蛇模型调整后的道路提取性能提高了。蛇模型对提取性能的提高主要是体现在定位精度的提高, 同时, 由于通过蛇模型调整能够将在连接过程中由连接和拟合所造成的位置偏移调整过来, 也会使鉴别算法更加有效, 所以其他指标也改善了。还要指出的是, 图 9 所示的提取结果是直接取图 7(e) 在图

7(d)中所对应的道路段,事实上,如果不对GA连接后的候选道路段进行蛇模型调整,则在鉴别阶段很难根据线特征幅度图将实际道路段和虚警道路段区分出来,也就是说,得到的道路提取结果要比图9更差。

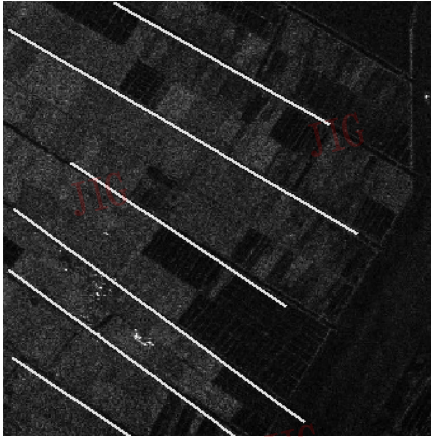


图11 未去斑情况下的道路提取结果

Fig. 11 Road extraction from undespeckled image

为了分析去斑算法对道路提取所产生的影响,本文将SAR图像(图7(a))不进行去斑操作,直接按本文提出的方法进行道路提取,得到的道路提取结果如图11所示,其中所有参数的选取是以得到最优道路提取结果为原则的。与图7(e)的

道路提取结果相比较,图11的提取结果中,有一条道路漏警,而且其他的提取出来的道路与图7(e)相比,完整性较差。表3给出了去斑后与未去斑的道路提取性能指标的对比。从表3可见,未去斑的道路提取完整性较差,漏警率较高,其他指标也比去斑后的差。

表3 去斑对道路提取性能的影响  
Tab. 3 The effect of image despeckling

	单位:%	
	本文方法的提取结果	未去斑的提取结果
完整性	94.34	81.60
正确性	99.33	98.45
提取质量	93.67	80.30
几何精度	7.26	8.31
漏警率	5.66	18.40
虚警率	0.67	1.55

图12给出了另一幅SAR图像的道路提取结果。图12(a)为中电集团公司第38研究所提供的合肥市区机载SAR图像,由于图中建筑物和道路两旁的树木对道路影响很大,从而造成道路边缘不连续、道路表面灰度相对不均匀,但是使用本文的道路提取方法仍能完整地提取出道路(如图12(b)所示)。



(a) 合肥市区机载SAR图像



(b) 道路提取结果

图12 合肥市区机载SAR图像道路提取结果

Fig. 12 Road extracted from the airborne SAR image chip of Hefei

## 4 结论

本文提出了一种SAR图像自动道路提取方法。该方法首先对图像进行相干斑抑制,然后提取图像上的线特征;继而利用遗传算法进行连接;

最后用蛇模型调整候选道路段的位置,并根据线特征幅度图对候选道路段进行鉴别,即得到最后的道路提取结果。对于本文方法的提取效果,使用星载和机载SAR图像分别进行了实验,并定性和定量分析了蛇模型对道路提取性能的影响以及相干斑抑制对算法的影响。总之,本文为SAR图

像的自动道路提取提供了一种行之有效的方法,可以用于 GIS 数据的获取和更新、绘图学、配准等领域。

### 参考文献 (References)

- 1 Jeon B, Jang J, Hong K. Road detection in spaceborne SAR images using a genetic algorithm[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, **40**(1): 22 ~ 29.
- 2 Frost V S, Stiles J A, Shanmugan K S, *et al.* A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1982, **4**(2), 157 ~ 165.
- 3 Jia Cheng-li, Kuang Gang-yao. Automatic extraction of roads from low resolution SAR images [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, **10**(10):1218 ~ 1223. [贾承丽, 匡纲要. SAR 图像自动道路提取[J]. 中国图象图形学报, 2005, **10**(10):1218 ~ 1223.]
- 4 Cardoso L A. Computer Aided Recognition of Man-made Structures in Aerial Photographs[D]. Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA, 1999.
- 5 Bentabet L, Jodouin S, Ziou D, *et al.* Road vectors update using SAR imagery: A snake-based method [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, **41**(8):1785 ~ 1803.
- 6 Wiedemann C, Ebner H. Automatic completion and evaluation of road networks [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, **33**(B3): 976 ~ 986.