

# 基于知识的线状目标边缘提取与识别定位

沈丽琴 胡栋梁 戚飞虎

(上海交通大学光纤技术研究所, 上海, 200052)

**摘要** 介绍了基于知识的线状目标的边缘提取、特征表达与识别定位方法。边缘提取与特征表达充分利用人类关于线状目标的知识, 摒弃了传统的图像低、中层处理常用的数据驱动型方法。识别的过程将目标的边缘信息与原始图像的灰度信息相结合, 避免了复杂背景下图像理解的歧义性, 同时圆满解决了由于航空图像的噪声高而引起的边缘提取的不连续及由此带来的识别难题。本方法计算量小, 速度快, 实用性强。

**关键词** 线状目标, 边缘提取, 目标中心, 目标中心链。

## 引言

线状目标(如道路、河流、桥梁等)识别与团块目标(如飞机、各种工件等)识别的最本质区别在于: 后者基本是用由下至上的数据驱动模型式识别方法, 如提取不变性特征进行模型匹配的方法、联想神经网络的方法等<sup>[1]</sup>; 但对于前者, 数据驱动型的识别方法是远远不够的, 甚至在低层处理部分就必须用到由上至下的知识驱动型方法, 将人类关于线状目标的知识充分贯穿在整个识别过程中, 这给线状目标的识别带来了极大的困难。

根据人类的知识, 一般认为航空图像中的线状目标是一些空间上连续的、几何上光滑的长条状目标, 目标中心在图像上表现的灰度是大致均匀或缓慢变化的, 而其背景却由于目标的跨度太大而错综复杂, 目标对应的边缘特征为局部对应平行的。本文结合线状目标的这种灰度特征与形状特征进行识别。

前人在该领域也做了大量的工作<sup>[2,3]</sup>, 但由于整个识别系统的庞大, 目标、背景的复杂, 往往做了许多简化和条件假设, 因此难以具有通用性, 有的算法复杂、费时、不能实用, 另外, 识别的过程大都只依赖于单一的目标特征(或目标边缘、或目标表面灰度模型), 在复杂背景下, 容易形成图像理解的歧义性。

本文将人类关于线状目标的知识有效地贯穿于目标的边缘提取、跟踪与连接中, 综合利用分割得到的边缘信息与可靠的原始图像灰度信息, 实现了一个全自动的线状目标识别系统。在第1节将介绍线状目标识别的全过程, 第2节介绍线状目标的细化边缘提取方法, 第3节着重介绍目标的跟踪与连接方案以及如何解决跟踪的不连续问题, 第4节介绍对由于

障碍物、遮合而引起的目标断开的解决方法. 在各节中穿插给出相应的实验结果. 最后讨论本课题后期的研究方向.

## 1 总体方案

边缘包含了目标最重要的信息, 而灰度又是目标最可靠、最基本的信息, 将两者结合起来, 并充分利用人类关于航空图像中线状目标的知识, 就能更准确的识别定位目标. 基于这一思想, 我们形成了线状目标识别的总体方案.

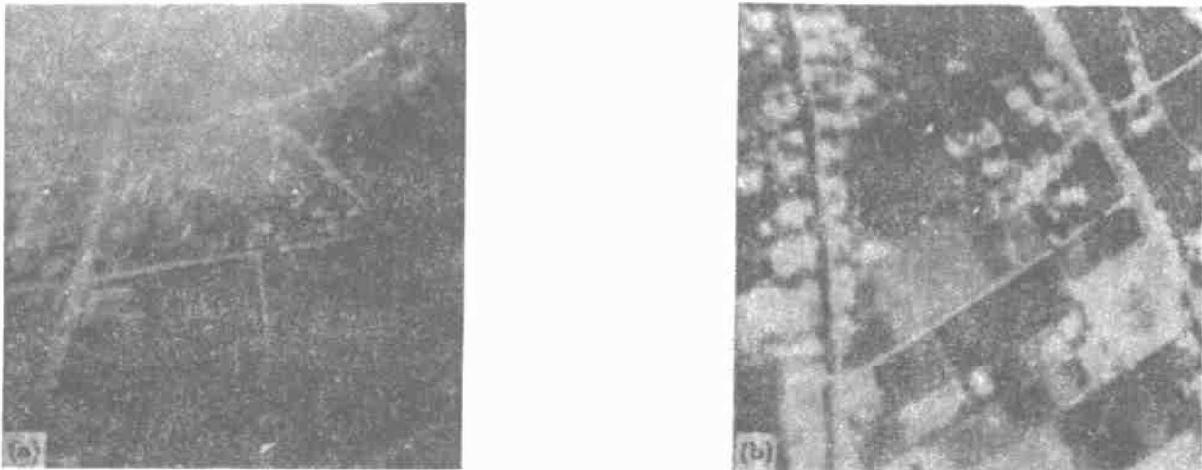


图 1 原始图像

Fig. 1 The original images

首先是进行目标边缘提取. 利用传统的 Sobel 算子, 根据人类的知识, 作者提出了基于规则的线状目标边缘提取算法, 以此得到细化的边缘图, 并利用区域生长的思想去除噪声. 具体方法在第 2 节介绍.

第二步是形成目标中心点, 对边缘图像分别进行垂直和水平方向的扫描. 一个不为边缘的点, 如果它处在两个边缘梯度方向相差  $180^\circ$  左右 (保证目标的两边近似平行), 距离在规定目标宽度范围内的目标边缘点的中心, 则初步认为该点是目标中心点. 这样得到垂直和水平扫描意义下的目标中心点图.

第三步是跟踪目标, 形成初始目标中心链. 分别对垂直和水平扫描得到的目标中心进行跟踪连接. 对水平扫描中心进行垂直方向的跟踪, 跟踪是从上到下, 根据已跟踪到的目标方向, 预测下一目标中心最有可能存在的位置, 并按这些预测中心不断确定下一中心的搜索范围; 对垂直扫描中心进行水平方向的跟踪, 跟踪是从左到右, 方法与水平扫描中心的跟踪相似. 穿越边缘的跟踪是不允许的, 具体阐述在第 3.1 节. 这样得到了一系列初始目标中心链. 由于噪声等各种因素的影响, 引起了边缘的不连续性, 它意味着目标中心的不连续, 只有那些目标中心点相对密集的跟踪链才可能为目标链. 对于链中的断续, 也需要做进一步处理, 具体方法见第 3.2 节. 这样便得到每一目标的中心轨迹及特征参数 (目标的起始点和终止点, 目标的中心平均灰度, 目标的平均宽度、方向及长度等).

第四步是最后连接. 由于障碍物、遮合等影响, 同一目标可能被断为几段, 根据已得到的链的端点位置、平均灰度、平均方向、平均宽度等特征参数, 再将满足规则的段联为同一条链. 具体阐述见第 4 节.

以下对系统的具体实现作进一步阐述.

## 2 基于知识的线状目标细化边缘提取算法

用  $3 \times 3$  的 Sobel 算子提取边缘速度快、抗噪能力强, 但需经过二值化处理, 而且得到的边缘较粗, 同时合适的二值化门限是难以获取的. 尽管可以采用文献[4]所述方法, 将图像分成许多小块, 选取更细致的局部门限, 但结果仍然难以令人满意. 针对线状目标的特点, 我们利用相应的知识, 提出了对线状目标的边缘灵敏度很高同时又能抑制其它目标边缘的算法, 即保留满足如下规则的边缘信息: 规则 1: 在  $3 \times 3$  邻域内, 沿着边缘梯度方向, 边缘值为最大(所有边缘应满足的特征); 规则 2: 在  $3 \times 3$  邻域内, 垂直于边缘梯度方向(即沿着边缘方

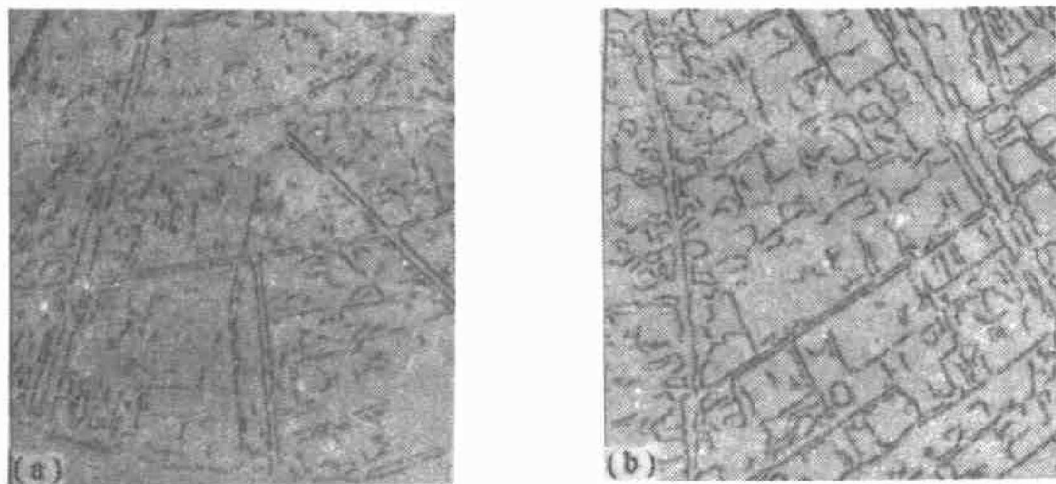


图 2 去噪后的细化边缘提取效果

Fig. 2 The results of thinned edge detection after removing noise

向), 边缘梯度的方向值相差在某一范围  $\phi$  内, 即满足几何光滑性(线状目标特有的特征), 由于图像的数字化的, 取  $\phi$  为  $45^\circ$  是合理的.

边缘提取的结果保留了很全面的线状目标边缘信息, 但存在许多孤立点和断续的小段, 特别是目标内部的这种噪声, 对下一步目标中心的形成极为不利. 我们用区域增长的概念消除这些孤立的、小段的噪声, 效果如图 2 所示.

## 3 目标的跟踪及跟踪不连续性的处理

对目标边缘图进行垂直和水平方向的扫描, 形成了相应的目标中心之后, 要将这些离散的中心按一定的规则形成可能的目标规迹, 即目标中心链.

归纳起来, 目标中心假设与跟踪形成目标中心链所依据的知识与规则是: 规则 1: 目标是一定宽度范围内的、局部对应边缘近似平行的长条状; 规则 2: 目标在几何上是光滑的, 因

此,目标的跟踪限制在满足光滑性的范围之内;规则 3:目标的宽度是大致均匀或缓慢变化的,不允许有目标宽度的突变或大幅度改变;规则 4:目标在空间上是连续的,因此,只有目标中心点相对密集的链才可能是目标中心链;规则 5:目标中心的平均灰度是大致均匀或缓慢变化的.

### 3.1 目标跟踪方向及搜索范围的确定

目标跟踪方向与目标中心搜索范围的确定是依据线状目标在空间连续、几何上光滑这一先验知识的,现以垂直方向跟踪水平扫描得到的目标中心为例.在从上至下的跟踪过程中,最近目标中心点以下的广义八邻域范围,都是下一目标中心存在的合理位置,如图 3(a)所示.

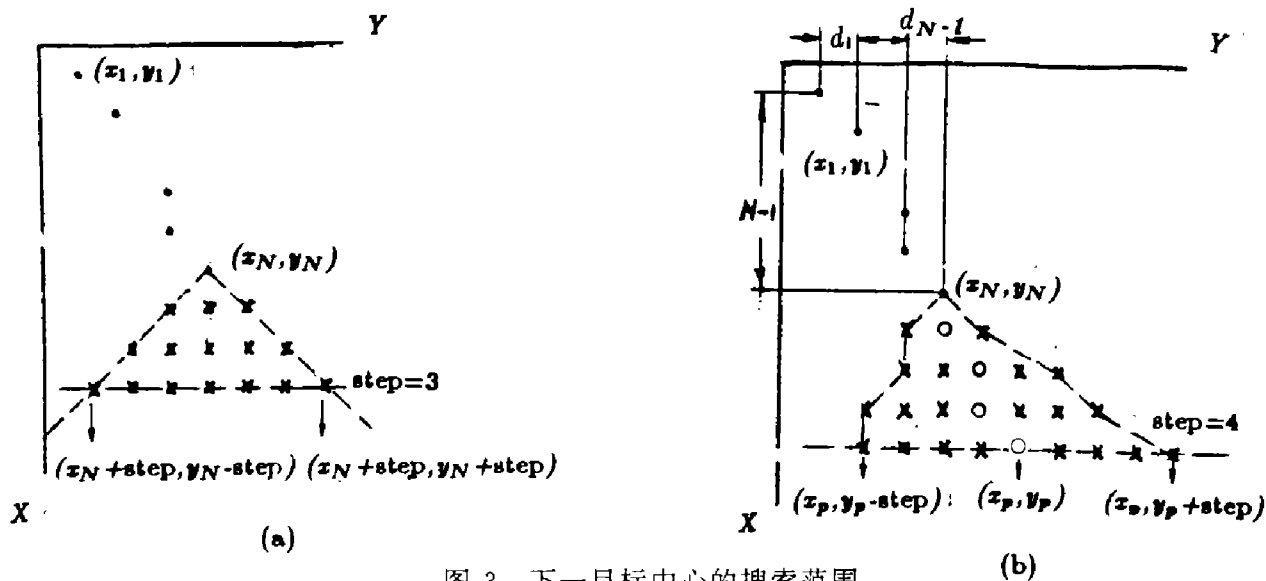


图 3 下一目标中心的搜索范围

(a)原八邻域范围,(b)修改后八邻域范围

Fig. 3 Searching area of the next object center

(a)general eight-neighbor area;(b)modified general eight-neighbor area

实际上,在已获得部分目标中心的基础上,已经有了关于目标走向的先验知识,这时可以预测下一目标中心最可能存在的位置,而不是盲目地垂直向下跟踪.如图 3(b)所示.对最近  $N$  个目标中心点的方向进行线性加权平均,得到预测所依据的当前目标方向.线性加权函数为  $W(d_i) = i$ .于是可计算当前目标预测方向为

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(N-1) \cdot d_{N-1} + (N-2) \cdot d_{N-2} + \dots + d_1}{(N-1) + (N-2) + \dots + 1}$$

这样,预测点的坐标  $(x_p, y_p)$  就由它距最近目标中心点  $(x_N, y_N)$  的步长  $step$  及目标预测方向决定,即

$$x_p = x_N + step, \quad y_p = y_N + \frac{dy}{dx} \cdot step.$$

同时,搜索的范围也不是简单地取点  $(x_N, y_N)$  正下方的广义八邻域,而是根据预测点的位置作图 3(b)所示的修改,即沿  $X$  轴方向与点  $(x_N, y_N)$  相距  $step$  的水平线上,搜索范围为  $(x_p, y_p - step) \sim (x_p, y_p + step)$ .

链跟踪结束后, 我们可以得到初始的目标中心轨迹如图 4 所示.

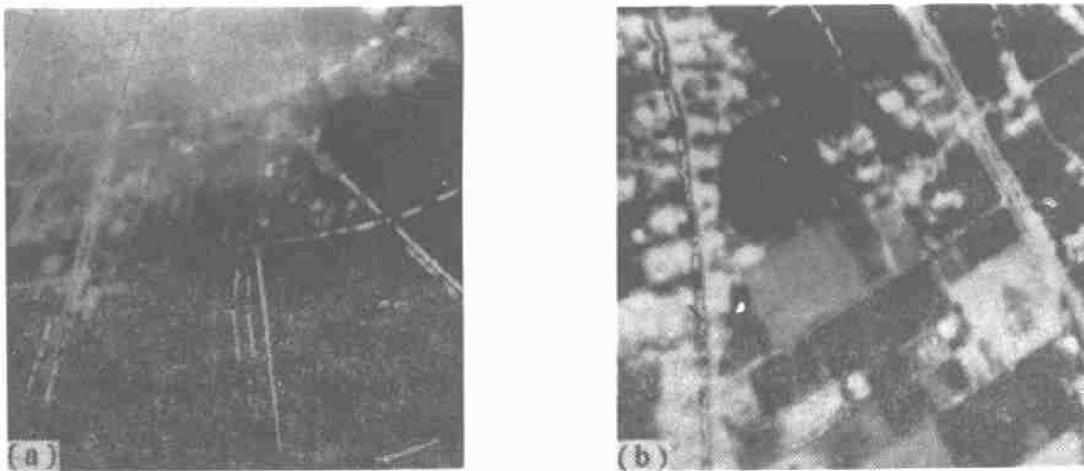


图 4 初始目标中心链

Fig. 4 The original object center chains

### 3.2 目标跟踪不连续性的处理

边缘的不连续造成了目标中心的不连续, 而链中的断续是否为目标的一部分则不完全可靠. 这时目标中心的平均灰度才是更可靠的信息.

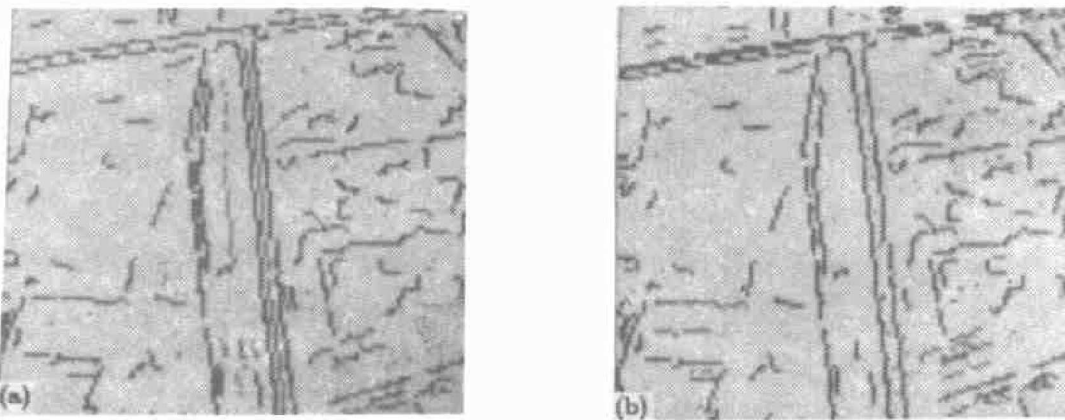


图 5 (a)水平扫描, (b)垂直扫描

Fig. 5 (a)horizontal scan, (b)vertical scan

#### 3.2.1 目标中心平均灰度的计算

航空图像中, 往往有偏向水平和偏向垂直的线状目标, 如图 5 所示, 图中淡色点为形成的目标中心. 对偏向水平的目标, 进行水平和垂直扫描都会产生相应的目标中心, 但水平扫描产生的目标中心很稀疏, 对应的目标宽度较垂直扫描对应的宽度宽, 在垂直跟踪时, 下一中心不在当前中心的八邻域搜索范围内, 因此不能形成目标中心链. 偏向垂直目标, 情况正好相反, 因此, 最后得到的目标中心链总是对应着水平和垂直扫描中较窄的目标宽度. 据此, 目标中心的平均灰度可合理计算.

当目标宽度  $\leq 4$  个像素时, 该点目标中心平均灰度  $ave(x, y)$  就为该中心点本身的灰度

$img(x, y)$ , 如图 6(a) 所示, 即  $ave(x, y) = img(x, y)$ .

当目标宽度  $\geq 5$  个像素时, 该点目标中心平均灰度为: 以该点为中心, 两边缘内侧一点的连线为对角线, 沿该点处的目标方向, 对角线的长度与另一对角线相等的平行四边形内各像素灰度的平均值, 如图 6(b) 所示, 其中, 该点处的目标方向为对应两边缘点方向的平均. 即

$$ave(x, y) = \frac{1}{N} \sum_N img(i, j).$$

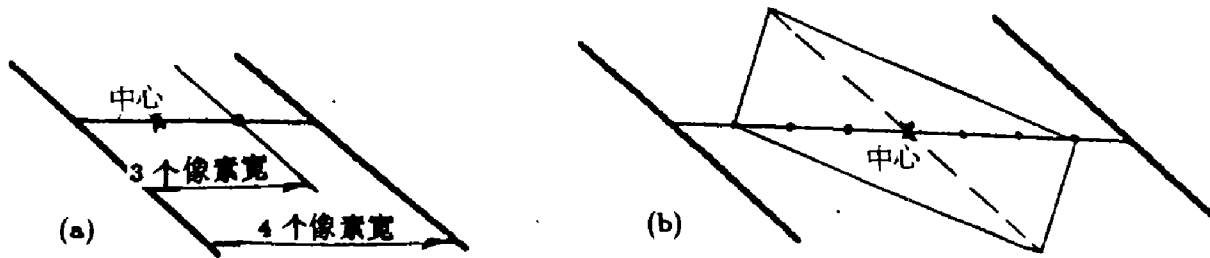


图 6 (a) 目标宽度  $\leq 4$  像素, (b) 目标宽度  $\geq 5$  个像素

Fig. 6 (a) width of the object  $\leq 4$  pixels, (b) width of the object  $\geq 5$  pixels

### 3.2.2 不连续性的处理

人们总习惯于去研究如何在有噪声的情况下提取更完美的边缘, 我们的工作侧重于如何弥补这些不完美的边缘. 由于线状目标具有中心灰度近似均匀或缓慢变化的特征, 据此, 可以考察目标中心链中的断续点是否满足目标中心的特性.

在目标跟踪的过程中, 做以下步骤: (1) 计算当前整体目标中心平均灰度  $ave_c$ . 按 3.2.1 所述方法, 计算链中每一个实目标中心点平均灰度, 再将所有这些点的平均灰度取平均得到. (2) 记录实目标中心点平均灰度与整体目标中心平均灰度之差的最大值, 记为  $max_d$ , 则有  $max_d = \max_{(x,y)} \{ABS[ave_c - ave(x, y)]\}$ . (3) 记录当前整体目标的平均宽度  $ave_w$ .

我们按当前整体目标的平均宽度  $ave_w$  来计算各继续点的中心平均灰度, 并将之与整体目标的平均灰度相比, 若相差小于  $max_d$ , 则接受该断续点为目标中心. 经不连续处理后, 图 4 所示的初始目标中心链改善为图 7 所示结果.

## 4 目标断开处的连结

如果目标上存在障碍物或遮合, 则在边缘提取时会产生截断同一目标的边缘或目标边缘的畸变, 这将导致同一目标被当作几个目标的误识别. 基于线状目标的特征, 如果两段链属于同一目标, 则它们应满足以下规则: 规则 1: 两段链的首尾端点相距在一定的范围内; 规则 2: 两段链的整体目标中心平均灰度相近; 规则 3: 两段链的目标平均宽度相近; 规则 4: 两段链一首一尾处附近的目标平均方向相差在一定范围内, 以满足线状目标的光滑性. 经过这一步处理, 图 7 所示结果被改善为图 8 所示的最后输出.

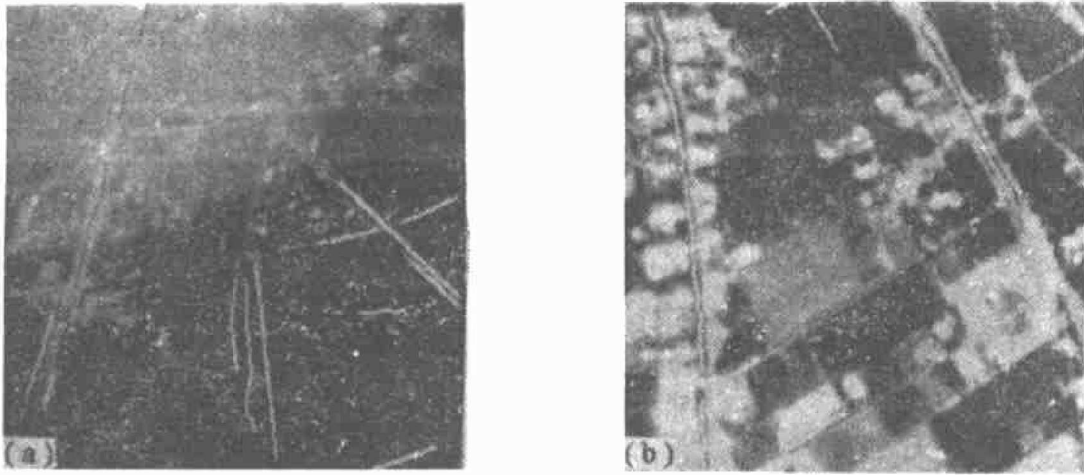


图 7 对图4进行不连续性处理后的结果

Fig. 7 Link the discontinuous segments within a chain based on Fig. 4

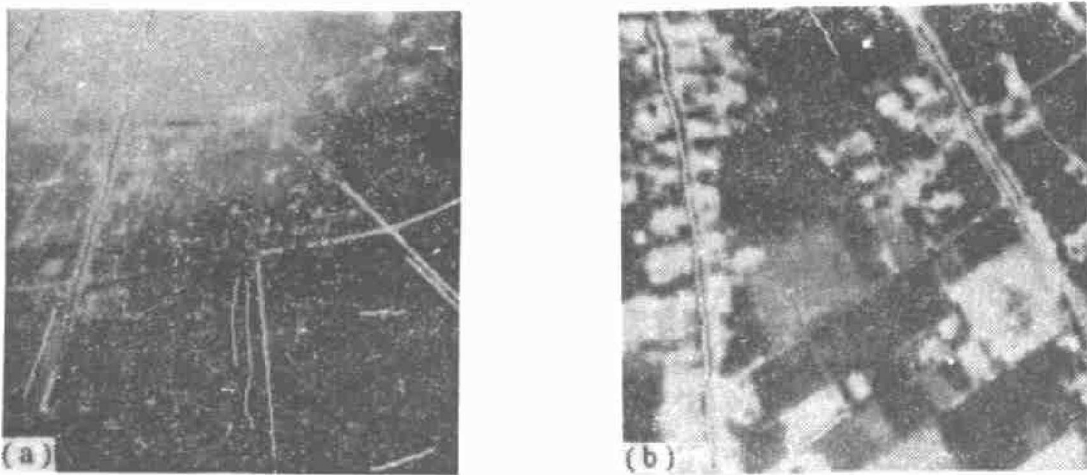


图 8 对图7进行断开处理连接的处理

Fig. 8 Link the separate chains according to the rules based on Fig. 7

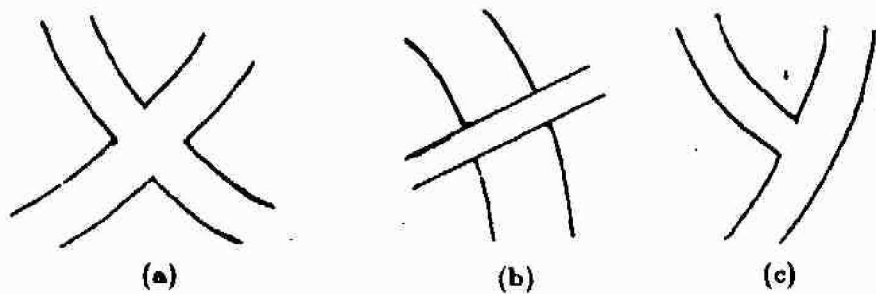


图 9 (a)交叉,(b)跨越(桥梁),(c)分叉

Fig. 9 (a)cross,(b)overlap (bridge),(c)fork

## 5 结论

实验结果证明了本方法识别目标的准确性与通用性. 算法除了边缘提取用 $3 \times 3$ 的 So-

bel 算子对图像进行卷积,而导致运算量相对稍大外,在目标中心形成与链跟踪的过程中,主要是进行一些逻辑判断和简单的整形数运算,速度很快.在 PC486 上处理一幅  $256 \times 256$  的图像,全过程一般只需 7~8s.

## 6 后期工作

在航空图像中,线状目标的形状是千变万化的,其背景也是相当复杂的,而且不同目标之间的连接组合结构也有多种,如交叉、跨越(桥梁)、分叉等,如图 9 所示.对不同的情况要给出更准确、更完整的特征描述,则需要将更多的人类知识在系统中表达,这将是我们的进一步的研究方向.同时,对于目标形状的畸变、灰度的畸变,也需要作更细致的描述与识别.

### 参考文献

- 1 Perantonis S I, Lisboa P J G. *IEEE Trans. on Neural Network*, 1992, **3**(2):2441~2451
- 2 Zlotnick A, Carnine P D. *CVGIP:Image Understanding*, 1993, **57**(2):243~260
- 3 徐胜荣,等. *模式识别与人工智能*, 1992, **5**(2):123~128
- 4 Nakagawa Y, Rosenfeld A. *Patten Recognit*, 1997, **11**:191~204
- 5 Scher A, et al. *IEEE Tran. on Patten Analysis and Machine Intelligence*, 1982, *PAMI-4*(3):316~323

## KNOWLEDGE-BASED EDGE-DETECTION, RECOGNITION AND LOCATING OF LINE-FEATURED OBJECTS\*

Shen Liqin Hu Dongliang Qi Feihu

(*Institute of Optic Fiber Technology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052, China*)

**Abstract** Edge-detection, feature representation, recognition and locating algorithms of line-featured objects, taking full advantage of the knowledge about line-featured objects in the whole process, are presented in this paper. The traditional data-driving method, which is usually used in the low and intermediate level image processing, is abandoned in the process of edge detection and feature representation. The process of recognition and locating integrates the edge and gray-level information to avoid different interpretation of the same image, at the same time, to solve the recognizing difficulties caused by the discontinuous edges because of high noise in the aerial images successfully. The algorithms are of computing simplicity, speedy and of high practicality.

**Key words** line-featured object, edge detection, object center, object center chain.

\*The project supported by the Climbing Programme-National Key Project for Fundamental Research in China, Grant NSC 92097.