

# 利用 Beamlet 变换算法提取遥感图像直线<sup>\*</sup>)

梅小明 张良培 李平湘

(武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室 武汉 430079)

**摘要** 遥感图像处理中,直线特征是一种极为重要的特征,能够提供重要的视觉感知线索。本文利用一种 Beamlet 变换算法来提取遥感图像中的直线特征,通过对遥感图像按二进、递归进行划分,利用灰度信息,积分计算每一小块图像中的 Beamlets,结合梯度信息,通过广义似然比检验 GLRT (Generalized Likelihood Ratio Testing) 来检测判断符合条件假设的 Beamlets,重建目标直线。此算法可以克服图像中的干扰及噪声,适应复杂、低信噪比遥感图像环境,准确地定位出直线。实验结果表明,这种算法具有较好的性能,可以应用到实际的遥感图像处理中,具有实用价值。

**关键词** 遥感图像处理, Beamlet 变换, 直线特征, 提取, 梯度, 广义似然比检验

## Line Extraction in Remote Sensing Image with Beamlet Transform

MEI Xiao-Ming ZHANG Liang-Pei LI Ping-Xiang

(National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079)

**Abstract** The straight lines feature is a very important feature and vision clue in Remote Sensing image processing. An algorithm using beamlet transform is proposed in this paper. Having dyadic and recursive subdivision on image, having integral on beamlets in each sub-square, the straight lines are approximated under GLRT (Generalized Likelihood Ratio Testing) and reconstructed. This method can overcome some kinds of noises in images and can extract exactly straight lines even in low SNR images. The experimental results show that this method has a better performance and can be suited to Remote Sensing images processing.

**Keywords** Remote sensing image processing, Beamlet transform, Straight line feature, Extracting, Gradient, GLRT

## 1 引言

直线特征是图像分析、处理中一种非常重要的特征,是视觉感知的重要线索<sup>[1]</sup>,能极大地简化图像的表示,同时又符合人们的视觉习惯。遥感图像分析处理中,能通过这些有“意义”的目标特征,如主要道路、居民区及人造目标等,来进行遥感图像的判读、解译工作,从而完成遥感图像的配准、矢量化、遥感地理及自动目标识别等任务,因此直线特征提取在遥感图像处理中是一项重要的、不容忽略的任务。

直线特征通常对应目标物体的轮廓线或边界线。由于遥感图像所包含信息量较大,背景噪声比较复杂甚至图像比较模糊,对直线特征进行提取的算法一直以来都引起了人们广泛的关注。人们相继提出了许多算法,这些算法各有优缺点<sup>[2~6]</sup>: Hough<sup>[3]</sup>变换通过在极坐标下计算直线方程,利用在变换域中来投票统计局部极大值,进行重建直线,能有效地连接断裂的直线,但同时存在局部性能差、参数复杂、难以适应低信噪比的缺点; Canny 算子使用高斯滤波器对图像进行平滑滤波,利用最优边缘准则,能比较准确地得到边缘及方向,适用于高斯白噪声图像,但容易丢失缓变的边缘,对噪声比较敏感,在强噪声下或低信噪比的条件下,存在设置高、低参数困难,局部噪声干扰大等不足; 动态规划方法<sup>[5]</sup>、最小熵方法<sup>[6]</sup>、基于 Bayesian 框架<sup>[6]</sup>等方法通过分析已经得到的直

线集,对直线图进行连接和延拓,精度要求取决于经过其他的边缘编组方法得到的最初直线图。

本文利用一种 Beamlet 变换算法来提取遥感图像中的直线。Beamlets<sup>[7]</sup>是一种按二进尺度组织的多线段系统,是各个尺度上的所有线段的一种集合。Beamlet 变换利用边缘上像素灰度值的连续性,沿边缘通过积分计算来提取直线,能克服传统的直线提取算法对噪声敏感的、参数难以选择、局部性能差等缺点,较准确地提取出任意位置、任意方向、任意长度的直线,较好地连接直线而不会断裂,具有较高的直线分辨率。实验结果验证,是一种较新、很有潜力的遥感图像直线提取算法。

## 2 Beamlets 原理

### 2.1 Beamlets 定义

Beamlets 的概念首先由 Donolo 提出<sup>[8]</sup>,初次使用 Edgelets 来表述。2000 年开始使用 Beamlets 描述一种按二进组织的多尺度线段系统<sup>[7]</sup>。

对于一个  $n \times n$  的图像,假定边长为单位长度,图像函数全部落在  $[0, 1] \times [0, 1]$  单元方块中,每个像素为  $1/n \times 1/n$  (这里为阐述方便,考虑图像长宽均为  $n$ ,且为 2 的幂次方大小),对图像二进递归划分,对每一图像小块进行顶点标注,每对标注点连成一 Beamlet,所有这样线段的集合,构成 Beam-

<sup>\*</sup>)国家自然科学基金项目(40471088 和 40523005)及地理空间信息工程国家测绘局重点实验室课题。梅小明 博士研究生。

- 4 贾迪野,黄凤岗,苏茜. 一种新的基于高阶非线性扩散的图像平滑方法. 计算机学报, 2005, 28(5): 882~891
- 5 袁泽剑,郑南宁,张元林,等. 一种非线性扩散滤波器的设计方法及其应用. 计算机学报, 2002, 25(10): 1072~10765
- 6 Weickert J, et al. Efficient and reliable schemes for nonlinear diffusion filtering. IEEE IP, 1998, 7: 398~410
- 7 Chan T F, Shen J. Non-Texturo Inpainting by Curvature-Driven

- Diffusions(CDD). J Vis Com & Image Repres, 2001
- 8 Weickert J. Anisotropic Diffusion in Image Processing: [Ph D Dissertation]. 1996
- 9 Sapiro G, Caselles V. Histogram modification via differential equations. J Diff Equat, 1997, 135: 238~268
- 10 Caselles V, et al. Shape-Preserving local contrast enhancement. IEEE IP, 1999, 8: 220~230

lets。

### 2.2 连续 Beamlet 变换

假定  $f(x_1, x_2)$  为  $[0, 1]^2$  上的连续函数,  $v_1, v_2$  为  $[0, 1]^2$  上任意两个标注点, 线段  $b = \overline{v_1 v_2}$ , 则连续函数  $f$  的连续 Beamlet 变换是指所有线段积分的集合:

$$T_f(b) = \int_b f(x(l)) dl \quad (1)$$

$x(l)$  为 Beamlet  $b$  沿单位速度路径上的描述。

### 2.3 离散 Beamlet 变换

离散 Beamlet 变换可以通过对连续 Beamlet 变换用  $(f_{i_1}, i_2)$  插值计算得到:

$$T_f(x_1, x_2) = \sum_{i_1, i_2} f_{i_1, i_2} \phi_{i_1, i_2}(x_1, x_2) \quad (2)$$

$(\phi_{i_1, i_2})$  为某种连续插值函数。

## 3 基于 Beamlet 变换的遥感图像直线提取算法

遥感图像中是否存在直线特征的问题, 可以看成一种是非对立、可以通过使用广义似然比检验 GLRT (Generalized Likelihood Ratio Test) 方法来解决, 这时假定图像是一幅带噪声  $n \times n$  的图像, 像素的灰度值  $(y_{i_1, i_2})$  由两部分构成:

$$y_{i_1, i_2} = A \cdot \phi_{i_1, i_2} + \varepsilon z_{i_1, i_2} \quad 0 < i_1, i_2 < n \quad (3)$$

$\varepsilon$  为噪声的等级,  $z_{i_1, i_2}$  为噪声,  $A$  为未知幅度参数, 决定着直线信号的强弱。  $\phi_{i_1, i_2} = \phi(i_1, i_2; \overline{v_1 v_2})$  为数据观测值。因此判断图像中是否有直线的问题, 可以转化为检验以下二种假设中哪一种成立的问题:

$$H_0 : A = 0$$

$$H_1 : A > 0 \quad v_0, v_1 \in [0, 1]^2 \quad (4)$$

如果 Beamlet 系数统计值超过预定的阈值, 就拒绝  $H_0$ ,

否则接受  $H_0$ 。

算法实现过程按如下步骤进行:

第一、设定要进行划分的尺度。对图像进行相应的划分, 得到若干个固定的图像小方块;

第二、对于每个小方块数据, 在其四条边线上从左上角开始, 按顺时针方向进行标注, 得到若干个标注点;

第三、每二个标注点之间构成一条 Beamlet, 应用 Bresenham 算法进行相应的插值来确定 Beamlet 上所有图像数据点;

第四、每一条 Beamlet, 得到二个 Wedgelets, 计算二 Wedgelets 间的相关性, 提取相关性最小时的 Beamlet;

第五、用离散 Beamlet 变换公式计算每一条 Beamlet 的 Beamlet 统计值;

第六、对 Beamlet 变换值进行标准归一化处理, 对 Beamlet 变换系数进行统计分析, 以最大值与最小值之差的二分之一作为阈值, 并运用 GLRT 法来检测判断检验假设, 确定符合假设条件下的 Beamlets;

第七、保存所有的符合假设检验条件的 Beamlet 上的图像数据, 作为检测直线预结果。在预结果数据中, 考查每个像素点的梯度。如果当前像素点梯度满足沿直线方向最大, 则保留像素点, 否则删除该像素点。

## 4 实验结果

### 4.1 模拟实验

由于遥感图像具有的前述特点, 为了验证本文提出算法的抗噪性能, 特模拟一强噪声实验环境来做模拟实验, 同时和 Canny 算法做比较。

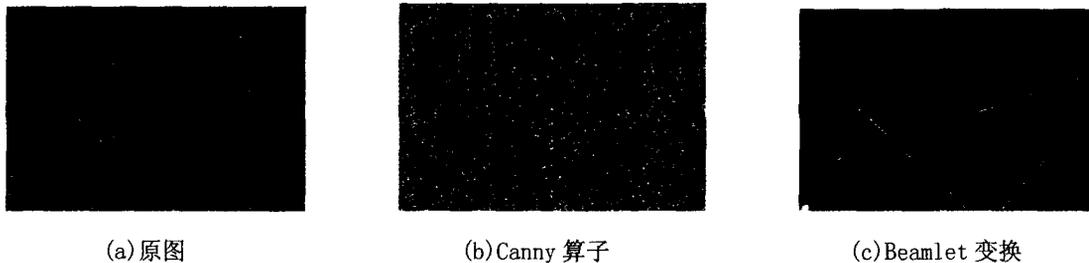


图 1 强噪声实验结果

图 1 中, 原图 (256 × 256 像素, 经过缩小处理) 是强椒盐噪声下的图像。图像中有三条不同位置、不同长度、不同方向的直线分别淹没在强噪声中, 分别用 Beamlet 变换、Canny 算子对其进行提取, 得到实验结果。从图中, 我们可以分析得出:

对于强噪声影响下, Canny 算子 (参数分别  $\sigma : 0.4; T_1 : 0.4; T_2 : 0.7$ ) 之所以得出杂乱无章的结果, 一是因为其适合高斯噪声环境, 不适合椒盐噪声环境; 二是因为其抗噪能力弱。而 Beamlet 变换提取的效果, 直线检测效果比较好, 能较准确地检测出不同位置、不同长度、不同方向的直线。

从模拟实验可以看出, Beamlet 变换表现出很强的抗噪

性能, 直线分辨率较高, 且提取的直线没有产生断裂现象。

### 4.2 遥感影像实验

为了更好地验证 Beamlet 变换的效果, 挖掘其在遥感图像处理中的实用价值和潜力, 作者在模拟实验的基础上, 分别用二幅遥感影像进行了相应的实验, 并和 Canny 算子做比较。

#### (1) SAR 影像实验

本实验中用到的数据参数为: RADARSAT-1 SAR SB; WRS: 35449/D; Date of Acq: 2002/8/19; Work Order No.: RD10217。

应用本文算法得出的结果如图 2 所示。

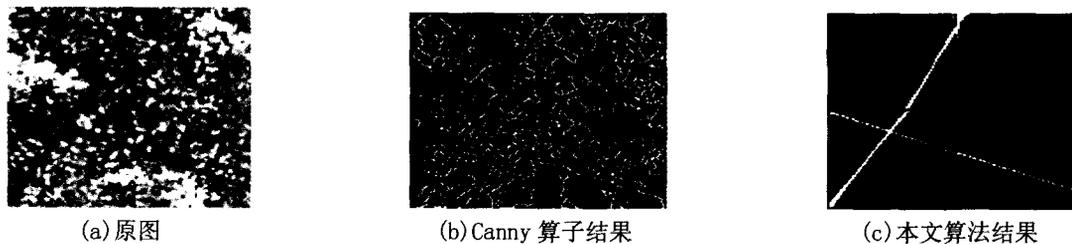


图 2 SAR 影像直线提取实验结果

图2中,(a)是一小幅 SAR 影像原图(128×128 像素),目标为二条直线型特征,一条直线成分,一条折线成分,用 Beamlet 变换可以得到结果,如(c)。由于 Beamlet 变换是针对直线提出的,为了得到折直线内容,采用了多尺度策略( $S=1$ );(b)中,由于 SAR 影像的特点,其噪声不符合 Canny 算子所适应的高斯分布,从而使得利用梯度来决定边缘,适应高斯噪声的 Canny(参数分别: $\sigma:0.4;T_1:0.4;T_2:0.7$ )算子,得

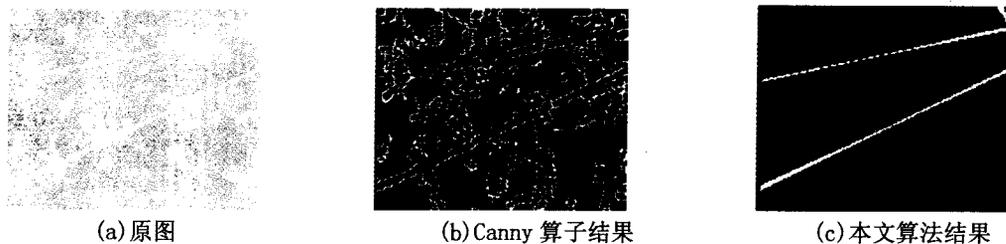


图3 武汉市 TM 影像提取实验结果

到的结果明显没有反映出目标特征的内容。  
(2)TM 影像实验 1  
本实验数据为武汉市 TM 影像,第一波段数据,影像参数为:获取时间为 20020709;LOC 为 123/0390000;SATELLITE 为 LANDSAT7;SENSOR = ETM+;CENTER 为 1134628.5612E 301913.6780N。

到的结果明显没有反映出目标特征的内容。

### (3)TM 影像实验 2

实验数据也为 TM 影像,和上面 TM 影像一样的参数,只是选取的地方不同。

图3中,(a)图为武汉市 TM 影像某区域(128×128 像素)影像,图中二条线性特征比较明显,应用本文算法可以得到较理想的结果图(c),只在局部有少量干扰信息,对结果不造成影响;而 Canny 算子结果(参数分别: $\sigma:0.4;T_1:0.4;T_2:0.7$ ),如图(b)只依稀能得出二条直线的轮廓,且无法和

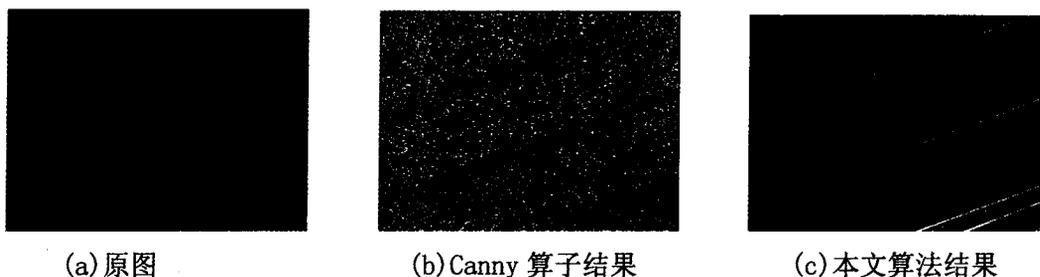


图4 武汉市 TM 影像提取实验结果

在本实验中,原图(a)(256×256 像素影像,经过缩小处理)是一种纹理型的多直线特征图,看似场景简单,实则信噪比并不高。从(b)图的 canny 算子(参数分别: $\sigma:0.4;T_1:0.4;T_2:0.7$ )实验结果可以看出,直线特征被其他干扰、虚假信息吞没,不能准确地检测出直线。而应用本文算法则可以得出非常理想的结果,多直线不论长短,均能较准确地定位出,提取的直线没有任何的断裂,连续性较好。

上述的模拟实验和真实影像实验说明,本文算法能适应强噪声或低信噪比的、复杂的遥感图像环境,提取出连续的直线,且可以使用多尺度思想很好地解决局部与全局的兼顾和统一。

**结论** (1)本文提出的 Beamlet 变换的遥感图像直线提取算法是一种按二进组织、多尺度线段系统,应用到遥感图像处理中,可以结合梯度信息、根据具体的问题需求,采用相应参数和尺度来解决问题;(2) Beamlet 变换的算法,与传统的直线提取算法进行比较,具有抗噪能力强,在强噪声或低信噪比的情况下,能得出较好的结果;从积分角度来解决目标提取的问题;提取的直线连续不断裂,直线准确性较高;具有较好的稳健性;(3)算法中的计算量比较大,下一步拟进行快速算法方面的研究,在保证精度的前提下,提高运算速度。

## 参考文献

- 1 王润生. 图像理解. 长沙:国防科学技术大学出版社,1994. 31~86
- 2 文贡坚,王润生. 一种稳健的直线提取算法. 软件学报,2001,12(11):1660~1667
- 3 Duda R, Hart P. Use of the hough transformation to detect lines and curves in the pictures. Communications of the ACM, 1972,15(1):11~15
- 4 Canny J F. A computational approach to edge detection. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 1986,PAMI-8(6):679~698
- 5 Merlet N, Zerubia J. New prospects in line detection by dynamic programming [J]. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 1996,18(4):426~431
- 6 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
- 7 Donoho D L, Huo X. Beamlets and multiscale image analysis. In: Multiscale and Multiresolution Methods, volume 20 of Lecture Notes in Computational Science and Engineering. Springer, 2001
- 8 Donoho D L. Wedgelets: nearly minimax estimation of edges [J]. Annals of Statistics, 1999,27(3):859~897