

基于 FLST 变换的多尺度面状地物提取方法

高建¹, 杨刚²

(1. 南京邮电大学 地理与生物信息学院, 江苏 南京 210023;
2. 山东省郓城煤矿, 山东 菏泽 274718)

摘要:提出了一种基于快速水平集变换 (FLST) 的多尺度面状地物提取方法。该方法利用 FLST 变换将图像分解为灰度水平集, 面状体物由于在空间分布和灰度值上的相近, 其相关信息很容易整体转移到水平集内; 通过一种水平线 Min/Max 流方法对包含地物信息的形状进行多尺度边缘平滑处理, 滤除图像中的细节信息, 保持面状地物轮廓基本不变; 最后进行重构图像, 重构结果具有灰度分布分片恒定的特点, 很容易从图像中获取目标地物的分布情况。对遥感影像中的典型面状地物, 如农田、水域、积雪等, 使用该方法进行了地物提取实验, 提取结果与人工方法提取相比, 其精确度均达到了 90% 以上。

关键词:快速水平集变换; 水平集; Min/Max 流; 面状地物提取; 多尺度

中图分类号: P237

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)12-0167-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.12.039

Multi-scale Extraction Method of Area Feature Based on FLST

GAO Jian¹, YANG Gang²

(1. College of Geographic and Biologic Information, Nanjing University of Posts and
Telecommunications, Nanjing 210023, China;
2. Yuncheng Coal Mine of Shandong Province, Heze 274718, China)

Abstract: A method of multi-scale area features extracting based on Fast Level Set Transformation (FLST) is proposed. An image is decomposed into gray level sets by FLST and the area features are transferred to level sets integrally for the sake of adjacency on spatial distribution and gray scales. Edges of shapes containing feature information are smoothed by a level-line Min/Max flow on different scales for removing details and preserving area features, then the reconstructed image is piecewise constant on gray scales. It is convenient to fetch information of area features from resultant image. Relative experiments are carried out on remote sensing images for farmlands, water areas and snow covers, whose result compared with that of artificial extraction shows that the precisions are all greater than 90 percentages.

Key words: FLST; level set; Min/Max flow; area feature extraction; multi-scale

0 引言

高分辨率遥感图像具有细节信息丰富、地物几何结构明显的特点, 从遥感影像中获取信息成为空间信息更新的重要手段, 并已广泛应用于国民经济生产和军事目标侦察等领域。其中, 针对遥感影像中的面状地物(如大面积的建筑物、水域、植被等)的提取处理, 涉及目标分割、边界定位等问题。文中从图像水平集的角度, 提出了一种全新的基于快速水平集变换 (FLST) 的多尺度面状地物提取方法。

水平集 (Level Set)^[1-5] 是图像处理中的一种常用

方法, 它将图像中的每个像素对应一个水平值, 分割方法按照水平值进行阈值分划, 滤波方法则按照水平值进行平滑处理。

文中利用具有稀疏表达和完全重构特点的快速水平集变换 (Fast Level Sets Transform, FLST)^[6-7], 将图像分解为包含目标分布信息的灰度水平集, 使用一种水平线 Min/Max 流方法对边缘进行多尺度平滑处理, 最后从灰度分片恒定的重构图像中, 获得不同尺度面状地物分布信息。

收稿日期: 2014-01-17

修回日期: 2014-04-23

网络出版时间: 2014-10-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41101425); 江苏省自然科学基金 (BK20130864); 南京邮电大学引进人才科研启动基金 (NY213056); 南京邮电大学实验室工作研究课题 (17032SG1315)

作者简介: 高建 (1982-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为数字图像处理与分析。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141023.1052.018.html>

1 FLST 图像分解与重构

FLST 变换是 Pascal Monasse 提出的一种图像变换方法,与傅里叶变换和小波变换不同,FLST 变换是在图像灰度水平集的基础上,将图像分解为不同等灰度线包围的连通区域,这些区域称作形状(Shape),所有形状根据拓扑包含关系组织成树(Tree)结构,是栅格图像的另一种表现形式。经过相应处理之后,将形状树按照相反的过程进行重构得到最终处理结果,可以证明,相对于分解过程,重构是完全的。

假设 Ω 为 R^2 中的一个矩形区域,即图像的定义域,图像 u 为 Ω 到 R 的映射,定义 u 的下水平集(lower level set)和上水平集(upper level set)分别为:

$$[u \leq \lambda] = \{x \in \Omega, u(x) \leq \lambda\}$$

$$[u \geq \lambda] = \{x \in \Omega, u(x) \geq \lambda\}$$

当 λ 由图像灰度的最大值递减到最小值,可以依次生成各灰度级的下水平集,所覆盖的区域从整幅图像逐级递减,连通区域(connected component)从一个开始分叉变化,可以将一幅图像所有灰度级的下水平集用一个树结构表示,对图像的上水平集同样适用。FLST 变换采用填补内部洞(Hole)之后的灰度连通域,即形状作为基本单元,将两树根据拓扑包含关系融合到一个树结构中,针对图像的处理就可以在一个树结构中完成。

如图 1 所示,左图为一幅简单的合成图像,有 9 个灰度连通区域,按照 FLST 分解方法得到右图的组织结构。以 E 形状作为包含整幅图像的根形状, E 中包含 C, D, G, J 四个矩形形状,其中 D 作为树结构的叶子节点, C 中包含一个 B 圆形形状, B 中包含 A 圆形形状, G 中包含一个 F 三角形形状, J 中包含一个 I 不规则形状。

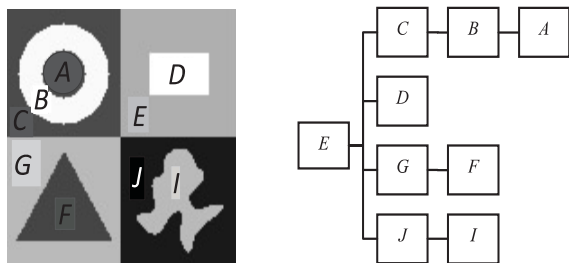


图 1 FLST 变换的图像分解

图像经过 FLST 分解之后,灰度值和空间分布相近的面状地物被划分到相同的形状内,为进一步的处理工作做好了准备。由处理后的形状树重构图像,其过程就是一个搜寻最小包含形状的过程,即对于图像中某一位置,在树结构中找到包含该位置的最小的形状,该位置处的灰度值就等于该形状对应的灰度值,由于形状树的建立是基于拓扑包含关系的,这种搜索重构的过程也是非常快速的。

2 Min/Max 流多尺度边缘平滑

图像 FLST 分解得到的结果包含图像的全部信息,其中大量的细节信息,对面状地物提取处理是冗余的,必须根据需要进行不同尺度的滤除处理。对地物形状的多尺度滤除处理,可以通过类似地图综合的方法实现,文中使用一种水平线 Min/Max 流方法对形状边缘进行不同尺度的平滑。

2.1 经典 Min/Max 流方法

Min/Max 曲率流方法^[8-10],是在平均曲率流(Mean Curvature Flow, MCF)模型的基础上做的改进,图像域中二维曲线 C 的 Min/Max 曲率流方法可以表示为:

$$C_t = F \cdot n$$

$$F = \begin{cases} \min(\kappa, 0) & \text{ave}(\kappa) < 0 \\ \max(\kappa, 0) & \text{ave}(\kappa) \geq 0 \end{cases}$$

其中, F 为曲率相关量; n 为曲线单位法向矢量; κ 为曲线曲率; ave 表示邻域均值函数。

可以看出,曲线上某点处的 F 取值取决于该处的曲率 κ 以及邻域内的曲率均值,当 κ 与邻域均值符号相同时,认为该处是凸的或凹的, F 取曲率值做曲线 MCF 平滑,否则 F 取 0,不做处理。对于灰度图像 u 的 Min/Max 流处理,经典方法表示为:

$$u_t = F |\nabla u|$$

相关的 κ 为由等灰度线曲率取代,由于该方法使用图像灰度代替了像素坐标,平滑处理的同时也会产生新的灰度值,造成图像边缘模糊。

如图 2 所示,左上图为在栅格图像白色背景中的一块深色目标,经过邻域半径为 1 像素宽度的 Min/Max 流方法一次处理之后,结果如中上图所示,处于边缘位置且带有凹凸性的灰度值发生了改变,但是更新的灰度值不能明确地划分到背景或目标范围中,多次的 Min/Max 流处理之后,区域的边缘将呈现模糊化和图像质量下降,右上图为一个较为理想的结果。

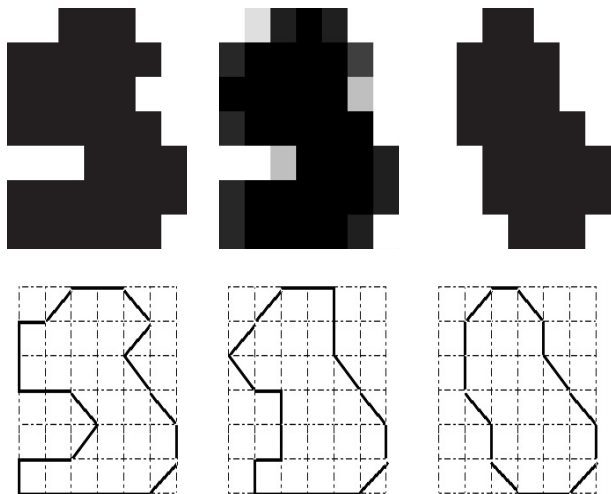


图 2 图像的 Min/Max 流处理

为解决边缘模糊问题,借鉴零水平集计算和更新的快速算法^[11-14],文中提出一种水平线 Min/Max 流方法,可以进行高效的边缘平滑处理,而且具有不同尺度相同复杂度的优点。

2.2 水平线 Min/Max 流方法

基于水平线的 Min/Max 流方法,是用曲率驱动边缘水平线运动,水平线两侧灰度值保持不变,形状边缘可以得到平滑,也不会造成图像边缘模糊。将图 2 中灰度图像重新用水平线表示,栅格像素位置使用网格交叉点来表示,如左下图所示。

图中将边缘像素的位置用线依次连接起来,对邻域半径为 1 的 Min/Max 流处理即考察尺度为 2 像素的折线边缘的凹凸性,从起点依次遍历处理各连接点,进行相应的平滑处理。图中水平线的连接夹角有 90°、135°和 180°三种情况:

(1)对于 180°的连接,认为边缘平滑,不作处理;

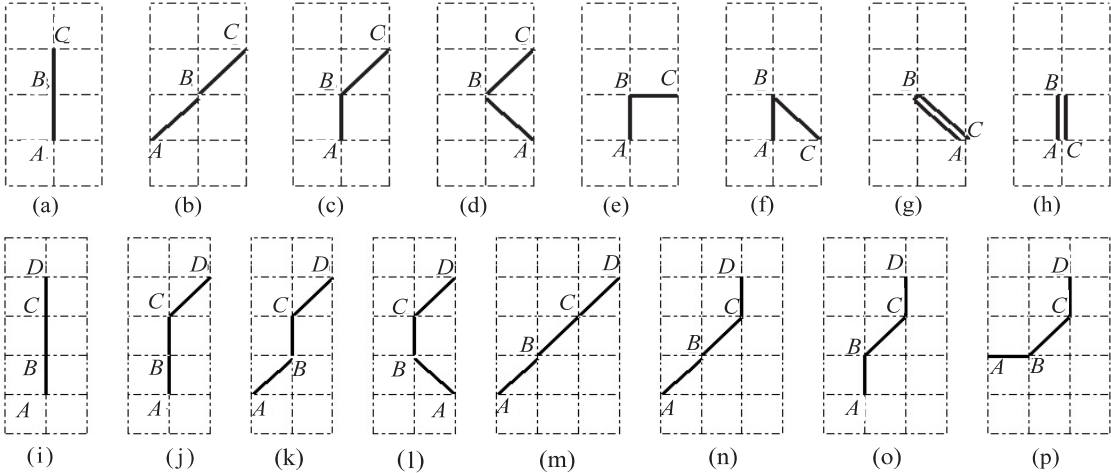


图 3 S=2 和 S=3 时边缘的连接情况

- (a),(b)的 180°和(c)的 135°的连接,对应于比较平滑的边缘,不需要进行处理;
- (d)中的垂直连接对应于平直边缘上单个像素造成的凹凸,可以通过将 B 点位置水平移动,由垂直连接转变到(a)的情况;
- (e)中的垂直连接对应于区域直角点,可以通过将 B 从水平线上删除,连接 AC 将直角变成圆角;
- (f)中的 45°连接对应于边缘上比较明显的凹凸,可以通过与(e)相同的处理消除掉;
- (g),(h)中的 0°连接对应于单像素宽度的区域,可以通过删除 B 以及 A 或 C 达到消除的结果。

处理的目的是将边缘上的(d)~(h)情况转化为(a)~(c)中的一种,其中(d)只需要做平移处理,(e),(f)需要删除一点,(g),(h)需要删除两点。对边缘的平滑处理经常需要进行多次遍历,直到其中不再有除(a),(b),(c)之外的情况,其算法复杂度为 $O(N)$, N 为边缘像素点数目。

(2)对于 135°的情况,对于 2 尺度,暂时认为是平滑的不作处理;

(3)对于垂直连接的情况,需要进行边缘点移动或删除处理。

如此遍历处理一次之后,结果如中下图所示,原有的垂直关系不再存在,但由于目标自身的特点会导致出现新的凹凸,继续遍历处理下去,最终得到一个稳定状态,边缘上任一位置 2 尺度内的连接不存在垂直关系,如右下图所示,其对应右上图的栅格图像。

2.3 多尺度处理方法

Min/Max 流水平线平滑处理的尺度取值应该不小于 2,当尺度 $S=2$ 时,选择边缘上三个相邻像素点 A, B, C 作为考察对象,考虑到对称、旋转的影响,将可能出现的具有代表性的八种情况在图 3 中上图表示出来,对于不同的情况采取的措施如下:

$S=3$ 时的处理需要在 $S=2$ 处理完成的基础上进行。此时边缘上只有图 3 中(a),(b),(c)三种情况,在这基础上再加入一线段就够成 3 尺度,考虑依次为 ABCD 的四点连接可能出现的情况如图 3 下图所示。

可以看出,除了(l)和(p)中 AB 和 CD 垂直外,其他的情况都不存在垂直关系,因此只需要对(l)和(p)的情况进行平滑处理。对于(l)只需要将 BC 进行平移就可以转化为情况(i),对于(p)只要将 BC 中的一点删除,另一点向 AD 中点方向平移就可以消除垂直关系。

完成所有的平滑处理之后,水平线中不再存有(l)和(p)的情况,可以进行 $S=4$ 的处理。加入线段时,此时图中的(i)和(o)对应(a),(k)和(m)对应(b),(j)和(n)对应(c),(l)对应(d),(p)对应(e),因此 $S=4$ 时出现的情况仍对应于图 3,只相当于 BC 之间多出一段线段,而处理的位置在两端,多出的线段并不会带来影响,同样的方法可以扩展到更大尺度的情况,因此图

3 可以作为任一尺度递增情况的概括。需要注意的是,此时处理(1)和(p)时进行的移动处理,要包含 BC 之间多出的那些连接点。

对尺度 S 的平滑处理前要求完成 $S-1$ 尺度的处理,即要求边缘对所有小于 S 的尺度都是平滑的。所有单尺度处理的复杂度和最小尺度一样,都是 $O(N)$ 。处理过程中的尺度越大,形状边缘会越光滑,对于尺寸较小的形状来说,由于无法满足某些尺度的稳定要求,处理中应将其从形状树中删除掉。图 4 中展示了图像中一个不规则的形状在尺度分别为 5,10,20 时的平滑效果。



图 4 一个不规则形状及其 $S=5,10,20$ 时边缘处理的结果

3 算法实现

对图像的处理过程为,首先经过 FLST 分解,然后进行不同尺度的水平线 Min/Max 流处理,最后进行图像重构。在实际处理中,比如 FLST 分解之后,可以对数据做一些预处理,比如在形状树中剔除尺寸较小的形状节点,合并没有分叉且灰度和区域相近的形状节点等,以提高处理效率,FLST 算法相关的详细内容可以参考文献[6-7]。

在进行边缘不同尺度平滑处理时,只需要考虑图 3 中所列连接情况,进行相应的处理。一个闭合的边缘水平线,在 S 尺度稳定状态时其包含连接点数目不应小于 $(S-1) * 8$,处理过程中可以将连接点数目小于一定阈值的水平线删除。水平线 Min/Max 流处理模块可以简要表示如下:

```
function Minmax_smooth(Tree,Shape,Linelist,Scale)
if size(Linelist) < Scale * k then remove(Shape); return false
Repeat smooth(Tree,Shape,Linelist,Scale-1) until false;
for each point in Linelist
Case(a): ...
Case(b): ...
...
```

```
Case(h): ...
if modified then return true else return false
```

算法总的复杂度为 $O(NS)$, N 为水平线像素点数目, S 为平滑尺度。由于经过不同尺度的边缘平滑,重构得到的图像中大量细节信息被滤除,灰度值分布分片恒定,很容易从重构结果中将面状地物标记出来。

4 实验与分析

首先,以农田遥感影像作为处理对象,如图 5 中左上图所示,大面积成片分布的农田,周围围绕着道路,并散布着一些居民建筑。使用文中所提供的方法,经过 FLST 分解,尺度从 2 到 10 的水平 Min/Max 流处理,重构图像后,其中 8 尺度的处理结果中较小地物轮廓基本已经消失,农田分部区域轮廓基本保持原样,而且经过处理后,左下图像中灰度值分布分片恒定,很容易直接提取出目标区域。

同样大小的水域遥感影像,除一个分布面积相对较大的水域之外,还有几个面积较小的水域,周围散布居民建筑等地物。经过处理之后,其 7 尺度的结果如图 5 中上图所示,除水域之外,其他地物基本已经没有明显的轮廓,将水域的分布情况标记如中下图所示。与原始影像相比,提取的结果中,面积较大的水域保持的较好,面积稍小的在 Min/Max 的边缘平滑作用下发生变形,面积越小受到的影响越严重。

山顶积雪的影像图随着山势积雪分布区域轮廓极不规则,分布区域内部也有因为山体裸露而出现的黑点及斑块,经过文中方法处理之后,其 6 尺度的处理结果如右上图所示,积雪分布区域边缘由于平滑作用而发生变化,内部的黑点和斑块已经消失不见,得到的提取结果如右下图所示。

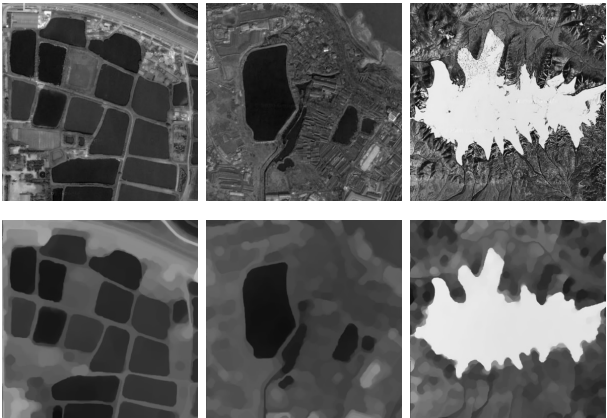


图 5 农田水域和积雪影像的重构图像及提取结果

为进一步的量化比较,采用人工方式分别对三幅影像进行地物提取,将人工提取的地物面积作为参考,与文中方法的结果对比,其提取结果的面积统计数据如表 1 所示。

表 1 面状地物面积(像素)数据统计

| | 农田 | 水域 | 积雪 |
|------|---------|--------|--------|
| 人工提取 | 102 012 | 36 316 | 78 852 |
| 文中方法 | 97 502 | 33 834 | 72 769 |
| 相对误差 | 0.044 2 | 0.068 | 0.078 |

由表中的数据可以看出,与人工提取结果相比,文中所提出的方法能够较好地取得面状地物的信息,精度都可以达到 90% 以上。值得注意的是,文中方法所提取地物面积统计值上都要小于人工提取的结果,除了操作中人为因素的影响之外,Min/Max 流边缘平滑作用对于面积缩减也有一定的影响,虽然在统计结果表中的影响并不是很明显。

5 结束语

针对遥感影像面状地物提取的问题,文中提出了一种基于 FLST 变换的多尺度提取方法,先将遥感影像进行 FLST 分解,通过对包含地物信息的形状进行不同尺度的水平线 Min/Max 流处理,最后从重构得到的灰度分片恒定图像中获得提取目标的信息。其中,文中使用的水平线 Min/Max 流方法处理的结果能够有效地对地物进行不同尺度的边缘平滑,滤除图像中细节信息,同时保持面状地物基本轮廓和清晰的边缘。相关实验验证了文中提取方法的有效性和精确性。

参考文献:

[1] Osher S, Fedkiw R. Level set methods and dynamic implicit surfaces[M]. [s. l.] :Springer Press,2003.

[2] Sethian J A. Level set methods and fast marching methods [M]. Cambridge:Cambridge University Press,1999.

[3] Aubert G, Kornprobst P. Mathematical problems in image processing;partial differential equations and the calculus of varia-

tions[M]. [s. l.] :Springer,2006.

[4] Chan T F, Shen J. Image processing and analysis – variational,PDE,wavelet,and stochastic methods[M]. [s. l.] :Society for Industrial and Applied Mathematics,2005.

[5] Losasso F, Gibou F, Fedkiw R. Simulating water and smoke with an octree data structure[J]. ACM Transactions on Graphics,2004,23(3):457–462.

[6] Ballester C, Caselles V, Monasse P. The tree of shapes of an image[J]. ESAIM:Control,Opt Calc Variations,2003(9):1–18.

[7] Monasse P, Guichard F. Fast computation of a contrast invariant image representation[J]. IEEE Trans on Image Processing,2000,9(5):860–872.

[8] Malladi R, Sethian J A. Image processing;flows under Min/Max curvature and mean curvature[J]. Graphical Models and Image Processing,1996,58(2):127–141.

[9] Malladi R, Sethian J A. Image processing via level set curvature flow[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,1995,92(15):7046–7050.

[10] Yu Hongchuan, Bennamoun M, Chua C S. An extension of Min/Max flow framework[J]. Image and Vision Computing,2009,27(4):342–353.

[11] Adalsteinsson D, Sethian J A. A fast level set method for propagating interfaces [J]. Journal of Computational Physics,1995,118(2):269–277.

[12] Whitaker R T. A level–set approach to 3D reconstruction from range data [J]. International Journal of Computer Vision,1998,29(3):203–231.

[13] Strain J. Tree methods for moving interfaces[J]. Journal of Computational Physics,1999,151(2):616–648.

[14] Malcolm J, Rath i Y, Yezzi A, et al. Fast approximate surface evolution in arbitrary dimension[J]. SPIE of Medical Imaging,2008,6914:69144C.

(上接第 166 页)

distance education system based on SSH[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering,2014,271(2):165–172.

[5] Wang Ying. The construction of psychology lessons planning platform based on the SSH[J]. Applied Mechanics and Materials,2013,397–400:2415–2419.

[6] Cheng Long, Ge Wei, Xue Bin. Design and implementation of railcar management system based on SSH[J]. Applied Mechanics and Materials,2013,416–417:1489–1494.

[7] 王海涛,贾宗璞. 基于 Struts 和 Hibernate 的 Web 应用开发[J]. 计算机工程,2011,37(9):112–114.

[8] 高 昂,卫文学. 基于 Hibernate 与 Struts 框架的数据持久化应用研究[J]. 计算机应用,2005,25(12):2817–2820.

[9] 邹 俊. 整合 Struts 和 Hibernate 框架的 Web 应用开发[J]. 微计算机信息,2008,24(9):235–237.

[10] 杨 威,高文华. 基于 Android 的智能家居终端设计与研究[J]. 计算机技术与发展,2013,23(7):245–248.

[11] 杨 飞,陈德艳,黄国宏,等. 基于 Android 智能终端的移动视频监控系統研究[J]. 计算机技术与发展,2013,23(2):195–198.

[12] Zhu Xiaodong, Yu Songnian. The horizontal and vertical screen to switch the display based on the Android[J]. Applied Mechanics and Materials,2013,313–314:1393–1397.


[13] Lin Chengmin, Huang Ching–Yuan, Yang Dunyu, et al. An Android–based interactive museum exhibit system using wireless sensing and augmented reality technologies[J]. Advanced Materials Research,2013,684:509–512.

[14] 张 琛,吴 跃,邱会中. 基于 Struts+Spring+Hibernate 的整合架构及其在电信业中的应用[J]. 计算机应用,2006,26(Z):265–266.

基于FLST变换的多尺度面状地物提取方法

作者：[高建](#)，[杨刚](#)，[GAO Jian](#)，[YANG Gang](#)

作者单位：[高建, GAO Jian \(南京邮电大学 地理与生物信息学院, 江苏 南京, 210023\)](#)，[杨刚, YANG Gang \(山东省郓城煤矿, 山东 菏泽, 274718\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014 (12)

引用本文格式：[高建](#). [杨刚](#). [GAO Jian](#). [YANG Gang](#) [基于FLST变换的多尺度面状地物提取方法](#) [期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014 (12)