

面向城市道路目视识别的遥感图像滤波增强方法



吴乐芹^{1,2}, 姜春^{1,3}, 陈进栋¹, 王永梅¹, 邓南荣^{1*}

(1. 广东省生态环境与土壤研究所, 广东广州 510650 ; 2. 华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510642 ;
3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640)

摘要:归纳与总结了遥感图像增强中的几种常用滤波方法。以广州城区作为试验区, Landsat TM 影像作为数据源, 分别运用纹理分析和卷积滤波对研究区域的遥感影像行增强处理, 并对这些方法的影像增强效果进行质量评价。结果表明, 高通滤波最适合于城市道路等线状地物的遥感图像增强。

关键词:图像增强; 滤波; 纹理分析; 卷积滤波

中图分类号: P237.3

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623(2015)02-0104-03

本文归纳和总结了目前常用的几种遥感图像滤波增强方法, 运用这些方法对广州城区的 TM 影像数据进行处理, 以便在 TM 影像上更好地辨识出广州城市道路, 对结果进行了对比分析和质量评价。

1 常用滤波增强方法

图像滤波增强方法的理论基础是空间卷积, 目的是改善影像质量, 包括突出边缘或纹理, 去除噪声与干扰, 及影像边缘增强、线性增强以及去模糊等。为了能辨识出街道, 本文主要采用了纹理分析和卷积滤波 2 种方法。

1.1 纹理分析

常见的纹理有 3 种类型: 自然纹理。自然纹理来源于真实物体表面, 大多呈现不规则性, 随机性强。

人工合成纹理。人工合成纹理是用计算机模拟或人为生产的表面纹理, 其形状规则、确定, 分布规则。

混合纹理。混合纹理由人工纹理随机分布于物体表面或自然景物中构成。纹理最明显的视觉特征是粒度或粗糙性、方向性、重复性或周期性^[1,2]。

纹理分析是对地物影像纹理特征进行提取分析、判断的过程。纹理分析方法可以归纳为: 统计方法、结构(几何)方法、模型方法以及基于数学变换(信号处理)的方法^[3]。统计分析的方法是其他纹理分析方法的基础。纹理的统计分析法是指在不知道纹理基元或尚未检测出基元的情况下对小区域纹理特征的统计分布进行纹理分析, 主要描述纹理基元或局部模式随机的和空间的统计特征, 以表示区域的一致性及其区域间的相异性。纹理的统计分析可以在空域和频域进

行^[4]。在图像空间域, 基于统计的方法可分为基于概率统计和基于二阶概率统计的方法。

1.1.1 基于概率统计的纹理分析方法

首先, 先定义一个 $M \times N$ 的窗口, 其中窗口的行数 M 和列数 N 均为奇数。然后对窗口的矩阵元素进行统计, 得出各种统计特征值。数据范围、平均值、方差、信息熵、偏斜的计算公式分别为:

$$f_1 = \max[p(i,j)] - \min[p(i,j)] \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{\sum p(i,j)}{M * N} \quad (2)$$

$$f_3 = \frac{\sum [p(i,j) - f_2]^2}{M * N} \quad (3)$$

$$f_4 = -\sum p(i,j) \log p(i,j) \quad (4)$$

$$f_5 = \frac{1}{M * N} \frac{\sum [p(i,j) - f_2]^3}{f_3^{3/2}} \quad (5)$$

式中, $p(i,j)$ 为矩阵第 i 行第 j 列的元素。

1.1.2 基于二阶概率统计的纹理分析方法

灰度共生矩阵 (GLCM), 是广泛应用的一种纹理统计分析方法^[5,6]。灰度共生矩阵法, 就是通过计算灰度遥感图像得到它的共生矩阵, 再通过计算这个共生矩阵得到矩阵的部分特征值, 来分别代表图像的某些纹理特征。灰度共生矩阵能反映图像灰度关于方向、相邻间隔、变化幅度的综合信息, 是分析图像的局部模式和排列规则的基础。

设 $f(x,y)$ 为一幅二维数字图像, 其大小为 $N_x \times N_y$, 每个像素的灰度级最大为 N_g , 则满足一定空间关系的灰度共生矩阵为:

收稿日期: 2014-03-14。

项目来源: 广东省科技计划项目 (2010B060100068)。

* 通讯作者

$$p(i,j) = \#\{(x_1, y_1), (x_2, y_2) \in N_x \times N_y | f(x_1, y_1) = i, f(x_2, y_2) = j\} \quad (6)$$

式中, $\#(x)$ 表示集合 x 中的元素个数, 显然 \mathbf{P} 为 $N_g \times N_g$ 矩阵。若 (x_1, y_1) 与 (x_2, y_2) 间距离为 d , 两者与坐标横轴的夹角为 θ , 则可以得到各种间距及角度的灰度共生矩阵 \mathbf{P} 。

总体上讲, 灰度共生矩阵 \mathbf{P} 定义为方向 θ 和间隔距离 d 的函数, 记为 $[\mathbf{P}(i, j, d, \theta)]$ 。 $\mathbf{P}(i, j, d, \theta)$ 表示矩阵第 i 行第 j 列的元素, 其中 $(i, j) \in N_g \times N_g$, $\theta \in \{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$ 。

由灰度共生矩阵的定义可知, 通过 (d, θ) 的值对组合可以派生许多共生矩阵用来分析图像灰度级的空间分布格局。在共生矩阵中, 当 d 取值较小时, 靠近对角线的元素值表示图像中灰度级别相近的像素对出现的几率, 而远离对角线的元素值则表征灰度级别相差较大的像素对出现几率。因此, 假设影像中某一区域由许多大小为 σ 的灰度均匀图斑组成, 那么在该区域 $d < \sigma$ 的共生矩阵 $\mathbf{P}(i, j, d, \theta)$ 中, 对角线附近的元素值较大, 而在 $d > \sigma$ 的共生矩阵中, 远离对角线元素值就较大^[4]。

根据灰度共生矩阵, 可以定义出大量的纹理特征, 目的就是使用所得的纹理特征辅助遥感图像纹理分类。Haralick 等人用灰度共生矩阵提取了 14 种特征值^[5]。常用的用于提取遥感图像中纹理信息的特征统计量主要有: 均值、方差、协同性、对比度、相异性、信息熵、二阶矩和相关性。其中协同性、二阶矩、对比度、相异性的计算公式分别为:

$$f_6 = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} \quad (7)$$

$$f_7 = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} [p(i, j)]^2 \quad (8)$$

$$f_8 = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left\{ \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} p(i, j) \right\} \quad (9)$$

$$f_9 = \sum_i \sum_j j(i - \mu)^2 p(i, j) \quad (10)$$

式中, $p(i, j)$ 是灰度共生矩阵 $\mathbf{P}(i, j, d, \theta)$ 的第 i 行 j 列元素。式 (9) 中, $n = |i - j|$ 。式 (10) 中, μ 是灰度共生矩阵 $\mathbf{P}(i, j, d, \theta)$ 各元素的标准差。

1.2 卷积滤波

空域滤波是在图像的邻域, 借助模板进行图像的卷积操作。对一幅图像进行空间卷积有 2 步: ① 建立一个包含一系列相关系数或权重因子的移动窗口。这些窗口的大小通常是一个奇数, 如 3×3 , 5×5 , 7×7 等。② 将这个窗口在整幅图像上移动, 用窗口所覆盖的每个像元的亮度值乘上其对应的相关系数或权重所得到

的总和 (或像元平均值), 代替其窗口中心像元的亮度值, 从而得到一幅新的图像^[1]。这种移动窗口称为模板。模板是卷积滤波算法的核心, 也称为卷积核。各种算法的不同就在于卷积核的不同。

本试验对图像进行低通、中值和高通等 3 种滤波处理。ENVI4.8 默认的 3 种滤波器处理均使用 3×3 的卷积核。低通滤波器的每个核中的元素包含相同的权重, 使用外围值的均值代替中心像元值。中值滤波器用一个被滤波器的大小限定的邻近区的中值代替每一个中心像元值。而高通滤波卷积核的维数必须是奇数, 卷积核如式 (11) 所示^[7]。

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

2 遥感图像增强试验

2.1 数据源概况

本研究所采用的数据源为广州城区的 Landsat5 TM 遥感影像, 数据获取时间为 2008-12-01, 数据获取当天天气晴朗少云, 数据质量较好, 整个研究区域包含 1555×885 个像元。在试验时选择 TM 7,4,2 组合波段图像, 该合成波段影像在视觉效果和信息量的表现上都比较丰富, 如图 1 所示。

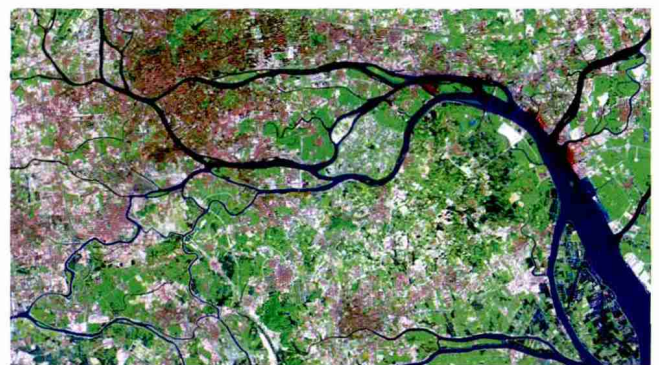


图 1 广州城区原始 TM 遥感图像

2.2 试验过程

为了从整体上提高影像的解译能力, 分别对研究区进行基于概率统计和二阶概率统计的纹理分析以及低通、中值和高通滤波的融合试验, 并对增强后的影像进行定性分析得出研究区增强质量最好的影像图, 从而选择出最适合于城市道路目视识别的遥感图像滤波增强方法。技术路线如图 2 所示。

在 ENVI 4.8 软件的支持下, 利用 Filter 下的 Occurrence Measure” 工具, 窗口大小设置为 3×3 , 得到基于概率统计的纹理分析方法的子区域增强图像, 如图 3 所示。

运用类似的操作, 获得基于二阶概率统计即灰度

共生矩阵的纹理分析的增强图像，如图 4 所示。

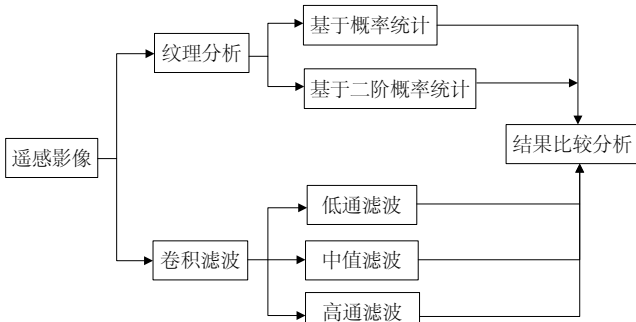


图 2 研究技术路线图

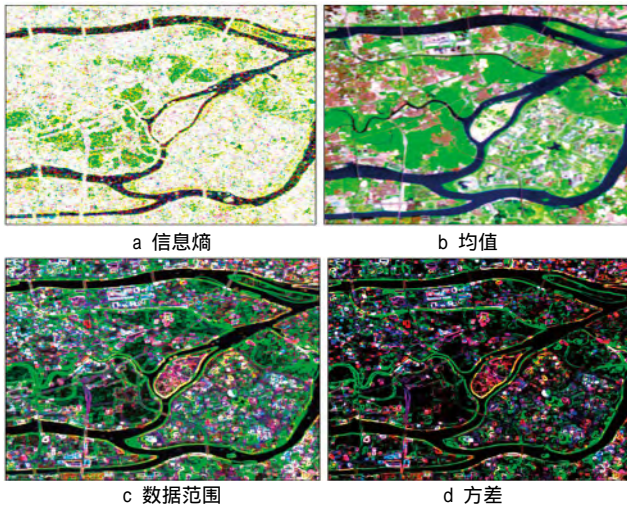


图 3 运用基于概率统计的纹理分析方法的子区域增强图像

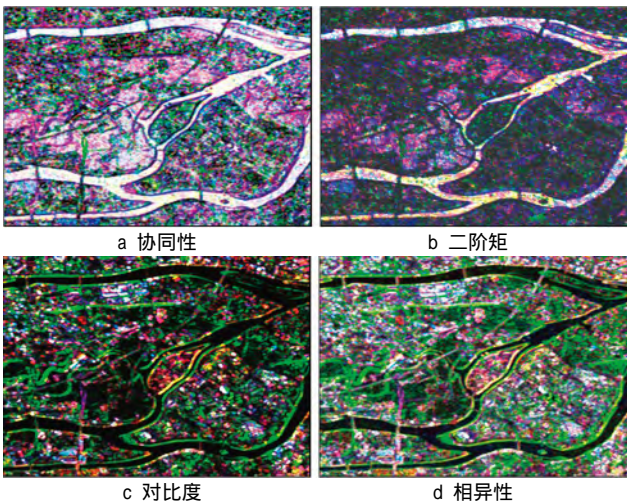


图 4 运用基于二阶概率统计的纹理分析方法的子区域增强图像
使用卷积滤波各种方法得到的增强图像如图 5、图 6 所示。

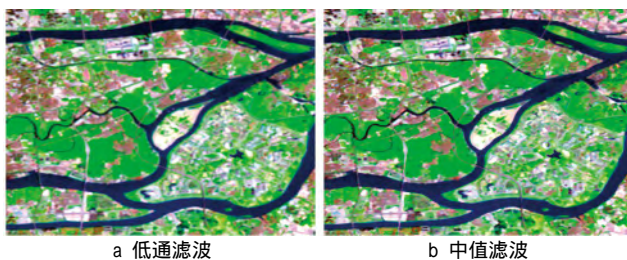


图 5 通滤波和中值滤波子区域图像

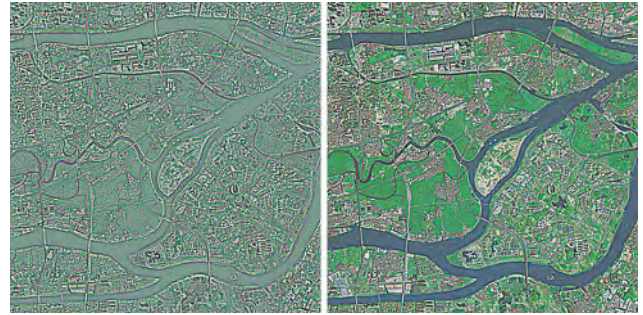


图 6 2 种高通滤波波子区域图像

2.3 质量评价

本文目前仅对增强图像进行定性评价。试验中，上述几种增强方法都保持了遥感图像多光谱信息的光谱特征。但由图 3~4 可以看出，运用 2 种纹理分析方法，无论是基于一阶的还是二阶的概率统计方法，都无法很明显地辨识出广州城区的街道和道路纹理，不利于提取道路信息。而在卷积滤波方法中，低通滤波通过窗口内的平均，强调了原图像大范围上的亮度，却平滑或模糊了原图像的细节。与此相似，中值滤波也对原图像进行了平滑。高通滤波消除了原图像的低频成分，保持了图像的高频信息，强调了空间细节，通过夸大局部的对比度，比原图像更有效地突出了线状特征——道路，获得了良好的目视解译效果。因此，高通滤波是最适合于城市道路目视识别的图像增强方法。但高通滤波同时让原始图像失去了大范围的亮度，这就需要通过加上一定的背景值来进行弥补，如图 6 所示。

3 结 语

本研究借助于专业遥感图像处理软件 ENVI 4.8，对广州城区 Landsat 5 TM 多光谱影像进行增强试验(包括各种纹理分析和卷积滤波方法)，并对试验结果进行了质量评价。结果表明，高通滤波最适合于城市道路等线状地物目视识别。相比于其他方法，高通滤波在保持图像高频信息的同时，消除了图像中的低频成分，强调了空间细节，但失去了大范围的亮度，如加上一定程度的背景值，则可达到良好的整体效果。在实际工作中，不同图像增强质量大不相同(如本文的示例)，建议在增强之前比较各种增强方法得到的效果，选择最适合的方法进行增强。随着遥感技术的发展，多传感器平台和高分辨率、高光谱遥感影像越来越多，如何利用这些信息获得更完善的增强模式和高质量的增强图像，还需要进一步的研究。

(下转第 109 页)

考虑地形地貌的因素, 并使用条子泥二分水线进行对照分析, 最终实现对潮水沟槽线的提取, 如图 6。



图 6 潮水沟槽线的提取

利用 ArcScan 对二值化灰度图提取潮水沟槽线的过程出现一些问题。首先, 在特征波段的选取上, 由于条子泥实验区各个波段的 DN 值、方差相差不大, 只能采用各个单波段的目视解译, 可能会造成误差。其次, 从图 5 可以看出, 提取的中轴线有很多断线、打圈等情况。出现这种情况有 2 个原因: 由于图像进行 2 次膨胀的强度过大, 使得与周围区域连在一起。

阈值选择小, 将周围图像像素都提取出来, 也会影响提取结果。但是提取的潮沟形态基本上和遥感图像中的潮沟形态相吻合, 这说明利用 ArcScan 对二值化灰度图进行潮水沟槽线的信息提取是可行的。该方法适用于高分辨率的遥感影像, 对于分辨率比较低的影像, 提取效果不是很好。

(上接第 106 页)

参考文献

- [1] 赵英时等. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [2] 马莉, 范影乐. 纹理图像分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2009
- [3] 刘龙飞, 陈云浩, 李京. 遥感影像纹理分析方法综述与展望 [J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(6): 441 - 447
- [4] 贺晓建, 王福明. 基于灰度共生矩阵的纹理分析方法研究 [J]. 山西电子技术, 2010(4): 89 - 93

4 结 语

ZY-3 卫星高分辨率遥感影像为提取潮沟槽线提供了丰富的波段光谱信息, 通过数据处理、阈值分割等方法获取二值化灰度图。结合利用 ArcScan, 进一步将潮水沟槽线信息提取出来。本文提出的基于 ZY-3 影像提取潮水沟槽线的方法可用于探索江苏岸外潮滩上潮水沟的迁移和摆动规律, 同时也能为研究潮滩微地貌的稳定性以及动力地貌演变提供依据。

参考文献

- [1] 都金康, 黄永胜, 冯学智, 等. SPOT 卫星影像的水体提取方法及分类研究 [J]. 遥感学报, 2001, 5(3): 214 - 219
- [2] 李霖, 罗恒, 唐新明, 等. 资源三号卫星多光谱图像特征分析和质量评价 [J]. 国土资源遥感, 2014, 26(1): 17 - 24
- [3] 李素昉, 李金屏, 吴波, 等. 基于纹理分析的图像地貌特征提取 [J]. 济南大学学报: 自然科学版, 2004, 18(3): 217 - 221
- [4] 杨淑莹, 胡军, 曹作良. 基于图像纹理分析的目标物体识别方法 [J]. 天津理工学院学报, 2001, 17(4): 31 - 33
- [5] 杨琨, 曾立波, 王殿成. 数学形态学腐蚀膨胀运算的快速算法 [J]. 计算机工程与应用, 2005(34): 54 - 56
- [6] 蔡红玥, 姚国清. 基于分水岭算法的高分遥感图像道路提取优化方法 [J]. 国土资源遥感, 2013, 25(3): 25 - 29
- [7] 阴国富. 基于阈值法的图像分割技术 [J]. 现代电子技术, 2007(23): 107 - 108
- [8] 郭臻, 陈远知. 图像阈值分割算法研究 [J]. 中国传媒大学学报: 自然科学版, 2008, 15(2): 77 - 82
- [9] 魏士春, 张红日, 苏奋振, 等. 基于 ArcGIS 的面状要素中轴线提取方法研究 [J]. 地理空间信息, 2007, 5(2): 45 - 47

第一作者简介: 周虹宏, 硕士, 主要研究方向为潮滩微地貌的演变。

- [5] Haralick R M, Shanmugan K, Dinstein I. Textural Features for Image Classification [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1973, 3(6): 610 - 621
- [6] 范丽红, 付丽, 杨勇, 等. 灰度共生矩阵提取纹理特征的实验结果分析 [J]. 计算机应用, 2009, 29(4): 1 018 - 1 021
- [7] 邓书彬. ENVI 遥感图像处理方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2010

第一作者简介: 吴乐芹, 主要从事地理信息系统的应用研究工作。

Discussion on Image Retrieval and Measurement Based on Oblique Photography

by LI Anfu

Abstract This paper introduced the basic principle, process of oblique photography image retrieval and measurement. According to the features of oblique photography project, the paper analyzed the practical needs in engineering application at first. And then, the paper pointed out the necessity of the research and its practical effect in engineering application. At last, the paper described the system's functions through the real data from oblique photography project.

Key words oblique photography, retrieval, measurement (Page:88)

Correlation Analysis on the Geological Structures and Remote Sensing Alteration

by HE Yafeng

Abstract This article selected the ETM image data in Zhongdian Area of Yunnan, and extracted mineralization alteration information with the help of ENVI software. The figure line and the ring structure frequency methods were used to quantitatively study the spatial configuration of relationship between mineralization alteration information and structure of line, and ring in workspace. The results show that the high frequency of line and ring structure node and high frequency of line ring node area have a good regional correlation with most alteration information distribution. The spatial distribution of alteration information and the large tectonic location is roughly consistent, and the overall alteration information distribution depended on the line and ring tectonic movements in this study area.

Key words remote sensing alteration, liner structures, ring structures, grid technology, correlation analysis (Page:91)

Coupling Model of Spatial Partition Based on Composite Factor

by CHEN Yuxin

Abstract This paper used the principles of calculus to deduce the function of both under the Micro-element defines, and used equivalent alternative equation systems to eliminate parameter for reducing the system error. And then, the paper combined with the triangle spatial partition and iterative thought to deduce the coupled model, with limited regional division of the variations scale achieving the goals of spatial optimization, and solved the problem of illegal collection of non-convex polygon. Finally, the paper verified the superiority of this model by an example and comparison of test.

Key words slope, the data density, spatial partition, coupling model, non-convex (Page:94)

Research on Direction Relationship of Area Based on the Rough Set

by GUAN Shengkuang

Abstract This paper mainly researched on the qualitative representation on the direction relationship between area and area based on rough set. Firstly, this paper discussed the representation based on the traditional direction relationship, and then introduced the direction relationship model about the rough sets. Finally, the paper summarized that the description of this example to direction relation was more consistent with the human expression to the uncertain direction relation and the cognitive theory.

Key words direction relation, rough set, direction relation matrix model, cognitive theory (Page:98)

Wuhan City 1 2 000 DEM Production Based on MapMatrix Work System

by ZHU Chuanyong

Abstract Taking Wuhan City 1 2 000 DEM production for example, this paper discussed several kinds of method and operating skills of DEM making based on MapMatrix work platform. At last, the paper laid out a simple and effective approach to rapid generation of DEM.

Key words MapMatrix, ADS80, DEM (Page:101)

Remote Sensing Image Filtering Enhancement Method Based on the Visual Identification of City Roads

by WU Leqin

Abstract This paper briefly summarized several common filtering

methods of remote sensing image enhancement. Taking the urban area of Guangzhou as study area and the Landsat TM image as data source, the methods of texture analysis and convolution filtering were used to enhance the remote sensing image of study area. By means of comparing the enhancement effect to assess the image quality, the results show that high pass filtering is the most suitable method of remote sensing image enhancement filtering for the visual identification of city roads and other linear features.

Key words image enhancement, filtering, texture analysis, convolution filtering (Page:104)

Extraction of Tidal Creek Slot Lines Based on the ZY-3

by ZHOU Honghong

Abstract In this paper, taking Tiaozini for example, based on the high resolution remote sensing image was acquired from ZY-3 on Nov 6, 2012, this paper used ArcScan to extract the medial axis of tidal creek from binary gray image instead of theoretically slot lines. At last, the tidal creek slot lines were combined with the terrain analysis of Tiaozini flat, in order to provide scientific basis for the study of tidal flat microtopography.

Key words ZY-3, tidal creek, ArcScan, the extraction of slot lines (Page:107)

Partition and Evolution of the Hinterland of Shenzhen Special Economic Zone

by WANG Xiaozhun

Abstract Under the background of special regional integration of Shenzhen, the article calculated the urban comprehensive influence index by principal component analysis, and used Huff model to divide the urban hinterland of Shenzhen special economic zone on the base of time reach ability supported by GIS software considering the road types and terrain resistance, urban space development strategy proposed later. The results show that potential energy maximum contour roughly coincided with 10 minutes OD cost contours. Hinterland area of administrative district is positively correlated with its urban comprehensive influence index. Absolute advantage of urban comprehensive influence index and the improvement of the transit environment, make most regions of Dapeng District a Shenzhen East Coast hinterland island of Luohu District. Hinterland of Shenzhen Special Economic Zone under the background of special regional integration changed significantly. Hinterland of Nanshan and Yantian Districts gradually weaken attributable to Baoan and Longgang Districts outside primary special economic Zone.

Key words urban hinterland, Huff model GIS, Shenzhen Special Economic Zone (Page:110)

Urban Heat Island Inconsistency Analysis of Qingdao Based on MODIS Data

by YU Zhen

Abstract In this paper, we used MODIS data of Qingdao for each month of the year 2011 to derive surface temperature data and vegetation data. We had a quantitative research on the distribution and the relationships between the land surface temperature and vegetation coverage. Experiments show that, the existence of the heat island effect in the urban area of Qingdao and it is obvious in summer and autumn which has a significant negative correlation in the surface temperature and vegetation. In addition, we also compared the urban heat island effect in Shanghai, and had a further inconsistency analysis of the urban heat island effect in Qingdao.

Key words urban heat island, MODIS, land surface temperature, vegetation coverage (Page:114)

Application of GIS in the Agro-ecological Environment Function Partition

by PENG Maolin

Abstract This thesis used MapGIS software to extract the data base. The agro-ecological environment was divided into agricultural development layer below 25° and agro-ecological protective layer above 25°. And then, the paper overlay analyzed the population