

# 基于遥感图像三区光谱特征的水网城市 区域规划协调控制方法

侯松, 瞿嗣澄

(嘉兴市国土空间规划研究有限公司, 浙江嘉兴 314000)

**摘要:** 水网城市区域规划功能区图像相似性特征较强, 且受生态环境、水资源调度等多个因素影响, 造成水网区域规划协调性较差, 提出基于遥感图像三区光谱特征的水网城市区域规划协调控制方法; 使用高分辨率遥感设备采集城市影像; 运用形态学算法, 利用结构树, 通过击中、击中不中变换的方式对图像做细化处理; 从亮度均值、目标标准差和亮度差级指数三方面提取图像光谱特征; 采用最邻近分类算法, 建立分类模型, 以优先功能区、一般功能区和冲突协调区的自身环境和光谱特征为依据, 将提取的特征输入到分类模型中, 自动输出划分结果, 利用 A\* 算法简化划分步骤, 实现水网城市规划协调控制; 实验结果表明, 所提方法提高了遥感图像质量, 分类结果符合不同功能区的特征要求; 兼顾其它生态要素, 规划具有协调性, 规划效果较好; 可在 2s 内完成目标区域规划, 规划时间较短; 对于目标规划数据的检测误差小、准确率高, 大幅度提高搜索效率, 能够为水网城市区域规划协调控制提供可靠依据。

**关键词:** 水网城市规划; 遥感图像; 功能区分类; 形态学算法; 最邻近分类; A\* 算法

## Coordinated Control Method for Urban Planning of Water Network based on Spectral Features of Three Regions in Remote Sensing Images

HOU Song, QU Sicheng

(Jiaxing land space planning institute Co., Ltd, Jiaxing 314000, China)

**Abstract:** The similarity feature of functional area images of water network urban regional planning is strong, and affected by ecological environment, water resource scheduling and other factors, resulting in the poor coordination of water network regional planning. A coordinated control method of the water network urban regional planning based on spectral features of three regions in remote sensing images is proposed. Using high resolution remote sensing equipment to collect urban images; Using morphology algorithm and structure tree, the image was refined by means of the hit and miss transformation. The spectral features of images were extracted from the brightness mean, target standard deviation and brightness difference index. The nearest neighbor classification algorithm was used to establish the classification model. Based on the environment and spectral characteristics of the priority functional areas, general functional areas and conflict coordination areas, the extracted features were input into the classification model, and the division results were automatically output. A\* algorithm was used to simplify the division steps and realize the coordination and control of the water network urban planning. The experimental results show that the proposed method improves the quality of remote sensing images, and the classification results meet the feature requirements of different functional areas. Considering other ecological elements, the planning is coordinated and the planning effect is good. The target area planning can be completed within 2 s, and the planning time is short. The detection error of target planning data is small, the accuracy is high, the search efficiency is greatly improved, and it can provide a reliable basis for the coordination and control of urban planning of water network.

**Keywords:** water network urban planning; remote sensing images; functional area classification; morphological algorithm; nearest neighbor classification; A\* algorithm

## 0 引言

城市水网系统是一个有机整体, 该系统中各要素之间相互制约, 水网规划是协调城市建设与生态环境保护的一种有效手段。若水网规划不合理, 则无法合理规划城市建设。城市水网的合理规划, 首先需要考虑防洪排涝、生物

栖息地构建及水资源调度等多个因素的协调, 然后划分水网的功能区域, 并在满足人们生产生活和生态环境需求基础上才能实现水网的科学规划。科学技术的发展使得水网规划技术不断更新, 传统的城市水网规划方法规划时间较长, 需要耗费很多的人力和资源, 规划效率较低, 难以

收稿日期: 2022-12-23; 修回日期: 2023-03-07。

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(2018A1918101620)。

作者简介: 侯松(1979-), 男, 大学本科, 高级工程师。

引用格式: 侯松, 瞿嗣澄. 基于遥感图像三区光谱特征的水网城市区域规划协调控制方法[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(11): 167-172, 180.

解决河网、湖区及水资源调度等多种模拟对象的协调控制问题。为确保城市水网规划的合理性，需要突破原有的规划思路，优化整合城市水网系统中的规划影响要素，重点研究水网城市区域规划协调控制方法。

外国一些学者将遥感技术大量应用在水网规划中，取得一定成果。国内一些研究者也根据相关经验，提出如下水网功能区自动划分方法。文献 [1] 构建了水网功能区分类体系，该体系包括一定理论基础，增强了分类技术的可操作性，建立 Landsat 卫星遥感数据的不同空间解释标志，准确划分水网的功能区域。文献 [2] 提出改进 Mobile NetV2 网络在遥感图像功能区划分中的应用。将 Dense Net 的密集连接思想引入到轻量化网络中，利用特征复用改善网络性能，再通过设定的瓶颈组合压缩图像的通道数，将其中一部分的瓶颈扩张系数缩小，便于控制网络规模，利用改进后的网络进行遥感图像分类，提高了计算速度。

但是水网功能区的图像相似性特征较强，在没有进行图像处理的情况下，很难区分各个区域的特性，解决河网、湖区及水资源调度等多种模拟对象的协调控制问题，并降低划分精度<sup>[3]</sup>。为此，本文提出基于遥感图像三区光谱特征的水网城市区域规划协调控制方法。面向水网城市规划，利用遥感图像实现功能区自动分类。将数学形态学应用到图像处理过程中，该方法已经在机器视觉等领域取得很好的应用效果，在遥感图像处理中也存在巨大潜力。通过逐步细化处理，体现出图像更多细节特征，为功能区自动划分奠定良好基础。经实验验证，本文测试方法能够兼顾其它生态要素，规划具有合理性，规划效果较好；规划时间较短；对于目标规划数据的检测误差小、准确率高，能够提高城市水网规划的效率，实现城市良好发展的目标。

## 1 基于遥感图像三区光谱特征的区域规划协调控制

### 1.1 遥测设备及传感器指标参数值

本次选用的是 Digitalglobe 公司生产的高分辨率遥感设备<sup>[4-5]</sup>。主要优势是画面拍摄更加灵活，设备容量高，能够获得多光谱、高清晰度的数据，更加突出目标的结构、纹理和色彩等特征。可实现辐射定标、正射校正等处理<sup>[6]</sup>。其中，GF-1 号传感器的相关技术指标如表 1 所示。

表 1 传感器相关技术指标表

参数类型	全色/多光谱相机		
	全色	0.41~0.85	
光谱范围/ $\mu\text{m}$	多光谱	蓝	0.41~0.49
		绿	0.51~0.59
		红	0.62~0.68
		近红外	0.78~0.89
空间分辨率/m	全色	3	
	多光谱	8	
幅宽/km	50		
重访周期/d	6		

### 1.2 数据预处理

数据预处理就是对遥测设备采集的原始图像做增强处理，本文将几何学作为基础提出基于形态学的预处理方式<sup>[7]</sup>，更好地分析水网城市规划的图像微观性质。该方法的基本操作过程是利用结构元素探测图像，并分析该元素是否能完全放入到图像内部。图 2 给出了某图像 A 以及圆形结构 B。元素放置在不同的地方，其中一个地方可以满足结构元素放入要求，另一个地方则无法放入。不断标记适合的位置，即可获得有关图像的信息，获取不同的结构元素，从而可以从不同角度分析图像。

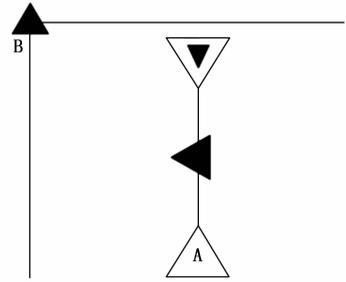


图 1 形态学基本运算过程

在处理过程中，同时分析图像内部与外部，从而得出目标和背景间存在的关系，获得更好的处理效果，击中击中不中变换 (HMT) 是处理该问题的有效方式<sup>[8]</sup>。

当结构元素腐蚀图像时<sup>[9]</sup>，可将该过程作为元素位置标记过程，即使标记点和原点与元素中的位置有关，但输出的图像形状不会受此影响。同样该方式也适用于膨胀运算<sup>[10]</sup>。

在 HMT 变换过程中能够同时获得内外标记，此时需要结构基元  $E$  和  $F$ ，将它们看作结构元素对  $B = (E, F)$ ，分别用作图像内外部处理。当  $E$  平移到某点时能够进入  $A$  的内部， $F$  平移到该点时，可填入  $A$  的外部。

由此可知， $E$  和  $F$  显示不能够相连，则有  $E \cap F = \phi$ 。变换过程如图 2 所示。

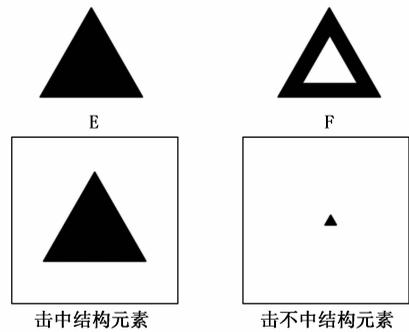


图 2 击中击中不中变换过程示意图

遥感图像的数学形态学运算需依赖上述 HMT 变换，假设一张遥感图像为  $S$ ，利用结构树  $B = (E, F)$  对图像做细化处理<sup>[11]</sup>，通过结构序列  $B^1, B^2, \dots, B^k$  的不断迭代，生成输出序列。在迭代过程中，如果输入集合有限，则会获

得更加细化的图像。图 3 表明结构基元 E 与 F 对图像 S 的全部迭代过程。

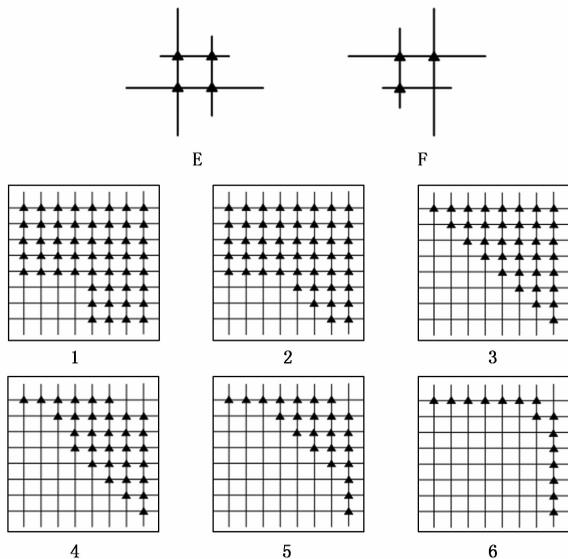


图 3 图像细化迭代过程示意图

如果利用  $(S \otimes B)[i, j]$  代表第  $i$  次迭代时, 结构对  $j$  的输出结果,  $(S \otimes B)[i, j, j + 1, \dots]$  描述迭代过程中生成的特征图像, 则表明该图像在后续迭代处理中, 即当  $j = j + 1, j + 2, \dots$  时, 图像细化时具有稳定不变的状态<sup>[12]</sup>。

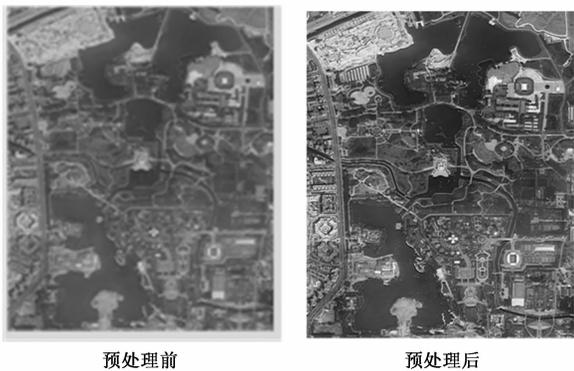


图 4 研究区域遥感图像

经过上述细化处理, 遥感图像的细节信息得到增强, 更有利于不同功能区的特征提取。处理后的遥感图像如图 4 所示。

利用定量方式对上述预处理后的图像做出评价, 分析图像的信息熵<sup>[13]</sup>, 该指标能够表现出图像中包含的信息量, 表达公式如下:

$$E = \sum_{l=1}^l P_e \log_e P_e \quad (1)$$

公式中,  $l$  描述遥感图像的整体亮度级,  $P_e$  表示亮度级是  $e$  级的概率。指标值越大, 说明图像所包含的信息内容越丰富。

处理前和处理后的图像信息熵值如表 2 所示。

表 2 预处理前后图像信息熵值对比表

图像	图像信息熵值	
	预处理前	预处理后
图像 1	0.456	0.926
图像 2	0.528	0.987
图像 3	0.461	0.919

由表 2 可知, 经过预处理后的图像信息熵值较高, 更接近 1。表明图像中的信息非常丰富, 能够为功能区分类提供更多信息依据。

### 1.3 遥感图像光谱特征分析

遥感图像的光谱特征能够体现出目标表层对于电磁波的反射状况<sup>[13]</sup>, 是纹理、几何特征的基础, 同时也是图像分类的直接信息源。通常情况下, 从下述几个方面分析光谱特征。

(1) 亮度均值<sup>[14]</sup>: 目标  $L$  波段的平均值表示图像目标内  $n$  个像元亮度值的均值, 也就是整体像元亮度值和像元数量之比:

$$\bar{C}_L = \frac{(\sum_{n=1}^n C_L)}{n} \quad (2)$$

公式中,  $n$  代表目标像元数量,  $C_L$  表示目标在波段  $L$  处的亮度值。

(2) 目标标准差<sup>[15]</sup>: 图像目标在全部波段上的像元统计标准差, 计算公式如下:

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{n=1}^n (c_{La} - \bar{c}_L)^2} \quad (3)$$

公式中,  $\sigma_L$  表示图像目标标准差,  $c_{La}$  代表图像第  $a$  层平均值。

(3) 亮度差级指数<sup>[16]</sup>: 全部波段中, 最大、最小像元差和目标亮度之比, 公式表示为:

$$md = \frac{(\max V - \min V)}{b} \quad (4)$$

公式中,  $md$  表示亮度极差,  $\max V$  与  $\min V$  分别代表目标的极大、极小亮度值,  $b$  是图像亮度。

### 1.4 最邻近分类

最邻近分类是面向对象分类的一种, 是将图像光谱信息为依据, 本文主要将最邻近分类对城市水网区域进行规划。该方法的实现需要易康软件的支持, 这是由于易康软件可突破传统影像分类方法的局限性, 将遥感影像数据转化为空间地理信息, 支持高分辨率图像的对象分类, 且自动化分类精度较高, 可以应用于中高空间分辨率影像的信息提取。

在最邻近分类算法中, 水网城市规划距离体现了对象和样本间的特征差距, 表达式为:

$$\omega = \sqrt{\sum_f \left( \frac{v_f^s - v_f^o}{\delta_f} \right)^2} \quad (5)$$

公式中,  $\omega$  表示样本  $o$  与对象  $s$  的间距<sup>[17]</sup>,  $\delta_f$  描述特征  $f$  的标准差<sup>[18]</sup>,  $v_f^s$  属于  $f$  的特征值,  $v_f^o$  是样本  $o$  的特征值。对于水网城市规划的遥感图像而言, 这些特征即为像元值<sup>[19]</sup>。

分类流程如图 5 所示。

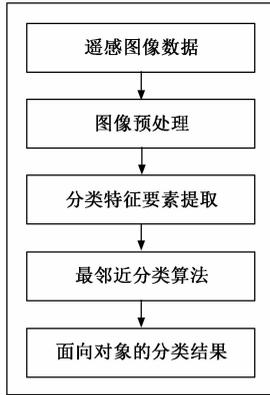


图 5 功能区自动分类流程示意图

按照上述过程，将水网遥感图像功能区划分为如下 3 个部分：优先功能区<sup>[20]</sup>，重点保护的功能区，包含自然区域、饮用水区域；一般用水功能区，人类生活和生产用水区，包含农业、工业和渔业用水；冲突协调区<sup>[21-23]</sup>，指混合区域和保留区域。不同区域的特征及分类方法如表 3 所示。

表 3 不同功能区特征及分类方法表

功能区	主要特征	分类方法
优先功能区	生态结构完整,植物类型丰富,居住的建筑用地较多,水网面积较大,光谱强度较弱	K 最邻近分类算法
一般用水功能区	在城市中多为工业用水,附近工厂较多,河水存在被污染的可能,河流通常较窄,光谱强度高于优先功能区	WAKNN 算法
冲突协调区	上下游冲突或者左右岸冲突,光谱强度会出现明显变化	SNNB 算法

将不同功能区表现的光谱特征引入到最邻近分类模型中<sup>[24-25]</sup>，得到功能区分类结果如图 6 所示。

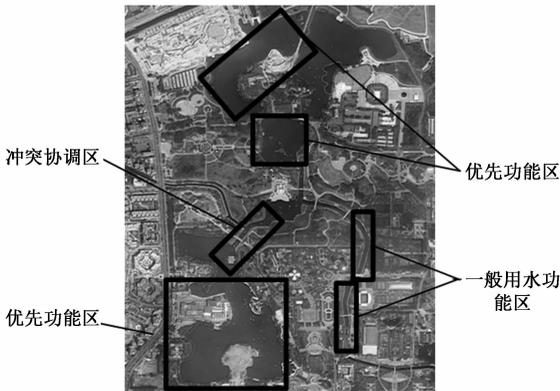


图 6 城市水网功能区规划结果示意图

由图 6 可知，3 个优先功能区的面积都较大，周围大多数被植被和住宅包围，光谱强度相对较暗；而一般功能区周围大部分为工厂，光谱强度较高。

### 1.5 水网城市规划协调控制实现

针对上述不同功能区的划分，对水网城市区域规划协

调控制的思路进行优化：

1) 首先根据输入对研究区域边界起点与终点的位置，将它们匹配到流域单元的节点；若相邻区域边界出现重叠时，需对其进行协调控制；

2) 然后在城市水网区域规划中运用 A\* 算法<sup>[26]</sup>，规划从区域边界起点到终点的最优水网规划区段，定义为：

$$D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\} \quad (6)$$

水网规划区段由多个规划区段构成，而每一个规划区段又对应多个功能区，因此其对应的功能区可标记为：

$$d = \{[d_{1,1}, \dots, d_{1,j}, \dots], \dots, [d_{i,1}, \dots, d_{i,j}, \dots]\} \quad (7)$$

其中：功能区  $d_{i,j}$  代表规划区段  $d_i$  对应的第  $j$  个功能区；

最后利用规划区段与功能区的对应关系，遍历功能区列表  $h$ ，从区域边界起点到终点的功能区中筛选出最优规划区段作为最终的功能区：

$$DX = \{[d_{1,j}, \dots, d_{n,j}], \dots, [d_{1,j+n}, \dots, d_{n,mm}]\} \quad (8)$$

基于上述水网城市规划思路，设计其具体算法如下：

1) 选取真实的区域边界起点  $s$  和终点  $t$ ，利用规划区段与功能区的对应关系，对应到规划区段的起点  $S$  和终点  $T$ 。

2) 在以上基础上，利用 A\* 算法，简化划分步骤，规划出最优的水网规划区段，在规划区段时只需考虑规划边界的起点和终点是否重叠，即规划协调性，无需考虑真实的相关环境要素，因此能够提高水网城市规划效率。算法步骤为：

①建立两个表，其中 CLOSED 表是用来储存被搜寻的节点，OPEN 表则是储存已产生但尚未搜寻的所有节点，将起点放入 OPEN 表。

②在算法的计算过程中，选出 OPEN 第一个节点作为当前节点；

③通过在 CLOSED 表格中的节点  $N$  遍历其邻近的节点  $N$ ，取节点  $N$  的各个邻居节点，根据公式 (9) 计算代价函数：

$$c(n) = \sum_1^n (\omega_1 L_i + \omega_2 B_i + \omega_3 C_i) \quad (9)$$

式中， $C$  表示当前节点与前一节点的实际距离； $B$  表示区段所包含的桥梁； $L$  表示区段的等级信息。 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  分别表示  $L, B$  和  $C$  的权重值。

根据公式 (10) 计算出各节点的估价值  $f$ ：

$$f(n) = c(n) + h(n) \quad (10)$$

式中， $n$  表示待开发节点； $c(n)$  表示从初始节点到节点  $n$  的实际代价； $h(n)$  是从节点  $n$  到目标节点的估计代价。

④根据估价值  $f$  对 OPEN 表进行由小到大排序，跳转到第②步，一直到终点出现或 OPEN 为空，水网城市规划结束。

3) 最终利用 A\* 算法规划出来的规划区段对应一到多个最优功能区，并根据节点功能分区与节点设计布局的匹配，筛选出适应优先功能区、一般用水功能区、冲突协调区的相应区段。

## 2 实验验证

### 2.1 实验参数

为验证基于遥感图像三区光谱特征的水网城市区域规划协调控制方法的规划效果, 进行实验测试。基于 MATLAB 的开发平台构建, 系统为 64 位 WIN8 系统, 采用的软件版本为 64 位的 MATLAB2018a。

选取的目标区域总面积为 378.62 km<sup>2</sup>, 陆地和水域分别为 302.11 km<sup>2</sup> 和 65.22 km<sup>2</sup>。该地区地势为西部和中部较高, 东部低。山脊为丁字形走向, 海拔在 280 米以下的丘陵较多, 河流纵横交错。该城市主要包括五大区域, 区域分布情况如图 7 所示。

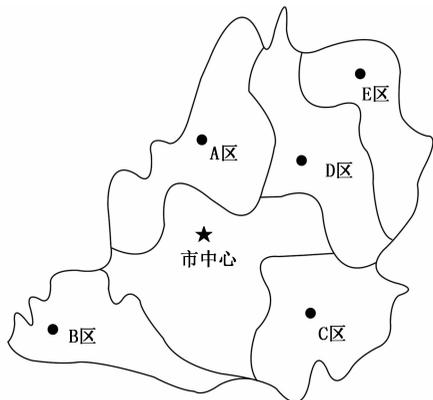


图 7 城市区域分布图

参照目标区域的地形条件和成图比例, 选用 Digital-globe 公司生产的高分辨率遥感设备, 获取了目标区域的遥感影像。具体图像如图 8 所示。



图 8 目标区域遥感图像

### 2.2 测试步骤及结果分析

所有的实验数据均取自于图 8 的实际测量, 测试结果是检验测试方法的重要指标。本文提出基于遥感图像三区光谱特征的水网城市区域规划协调控制方法, 根据不同功能区的特征, 将水网遥感图像功能区划分为优先功能区、一般用水功能区和冲突协调区。将文献 [1] 构建水网功能区分类体系与文献 [2] 提出改进 Mobile NetV2 网络在遥感图像功能区划分中的应用作为对比, 得到目标区域遥感图像规划结果如图 9 所示。

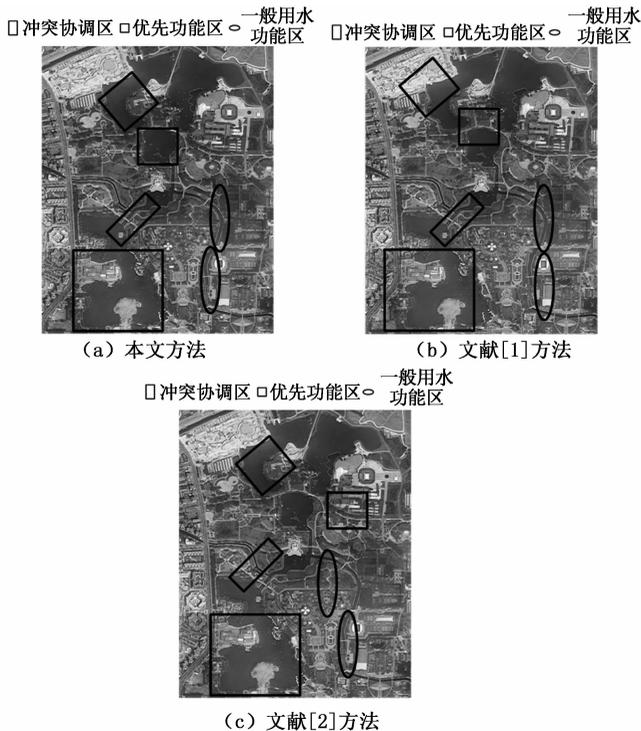


图 9 目标区域遥感图像规划结果

分析图 9 可知, 本文测试方法能够准确规划优先功能区、一般用水功能区和冲突协调区, 将优先功能区分布在城市的水网面积较大, 光谱强度较弱的区域; 将一般用水功能区分布在城市的河流流经区域, 该区域为河流下游, 附近工厂较多; 将冲突协调区分布在上下游冲突的区域。而文献 [1] 方法可以准确规划冲突协调区, 但优先功能区 and 一般用水功能区规划不完善; 文献 [2] 方法的冲突协调区、优先功能区 and 一般用水功能区规划均不完善; 由此可知, 本文测试方法兼顾其它生态要素, 规划具有合理性, 使得规划效果较好, 可以起到保护环境的作用。

选择基于遥感图像三区光谱特征的水网城市区域规划协调控制方法作为实验组测试方法, 水网功能区自动规划方法为对照组测试方法。选取目标遥感图像中的 20 个规划区域, 测试实验组与对照组的规划时间, 表 4 记录了实验组、对照组对规划区域的规划时间对比结果。

表 4 规划时间对比结果

规划区域	实验组/s	对照组/s	规划区域	实验组/s	对照组/s
1	1.23	6.34	11	1.47	6.18
2	1.45	7.31	12	1.15	7.94
3	1.78	8.15	13	1.63	8.16
4	1.35	9.14	14	1.75	9.15
5	1.34	10.14	15	1.15	10.48
6	1.35	11.48	16	1.45	11.46
7	1.79	10.56	17	1.15	12.34
8	1.35	10.47	18	1.78	12.17
9	1.14	10.57	19	1.27	13.15
10	1.95	10.43	20	1.63	12.75

分析表 4 可知, 实验组测试方法的规划时间均在 2 s 内完成目标区域规划, 而对照组测试方法的规划时间均超过 5 s 才能完成目标区域规划, 相对对照组测试方法, 规划时间较短。

将取自于图 8 的实际测量得到的所有实验数据集输入到最邻近分类模型中, 利用本文测试方法对规划数据集进行检测, 以验证本文测试方法的规划精度, 检测的结果如图 10 所示。

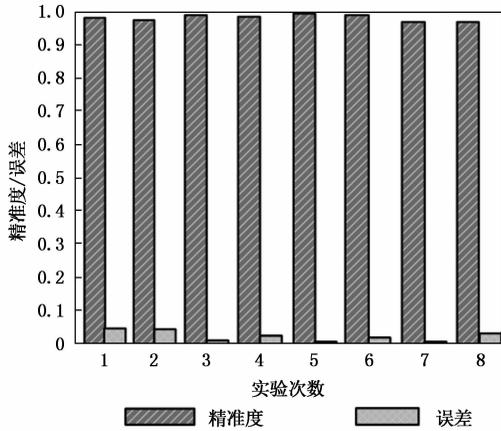


图 10 规划精度/误差结果图

由图 10 可知, 本文测试方法在对目标区域规划数据集检测方面表现较为理想, 精度均在 0.98 以上, 尤其是第 3 次、第 5 次和第 6 次的实验结果, 精度接近 1, 而且检测误差也较低, 第 3 次、第 5 次和第 7 次的检测误差分别为 0.02、0.01 和 0.01, 误差趋于 0。由此可以看出, 本文测试方法对于目标规划数据的检测误差小、准确率高, 从而也说明本文测试方法对于目标区域规划较为准确。

为验证上述基于遥感图像三区光谱特征的水网城市区域规划协调控制方法的规划效率, 设计文献 [1] 构建水网功能区分类体系与文献 [2] 提出改进 Mobile NetV2 网络在遥感图像功能区划分中的应用作为对比测试时, 对于同样的条件, 随机选取目标遥感图像中的 20 处规划区域, 采用 3 种不同的方法进行城市水网规划, 并比较了采用 3 种不同的规划方法进行的节点总数、规划区域内功能区数量、规划区域内的工厂数量, 结果如表 5 所示。

表 5 不同方法的效率对比

方法类型	平均搜索节点总数/个	平均功能区数量/个	平均工厂数量/个	平均运行时间/ms
本文测试方法	556	8	16	53.25
文献[1]测试方法	761	5	12	89.48
文献[2]测试方法	648	4	9	76.79

由表 5 可知, 本文测试方法将不同功能区表现的光谱特征引入到最邻近分类模型中, 大大降低了水网规划中所需的节点数量, 大大提高了系统的搜索效率。并对各功能区进行进一步的划分, 优先功能区划分为自然区域、饮用水区域; 一般用水功能区划分为人类生活和生产用水区,

冲突协调区划分为混合区域和保留区域。这样既可以有效地规划出更合理、更安全的水网功能区域, 又可以有效地提高系统的搜索效率。

综上所述, 本次实验结论为: 1) 本文测试方法能够兼顾其它生态要素, 规划具有合理性, 使得准确规划功能区, 规划效果较好; 2) 实验组测试方法的规划时间均在 2 s 内完成目标区域规划, 相对对照组测试方法, 规划时间较短; 3) 本文测试方法对于目标规划数据的检测误差小、准确率高, 大幅度提高搜索效率。从而也说明本文测试方法对于目标区域规划较为准确。

### 3 结束语

城市水网规划是将整个城市水资源区域划分成为独立的功能分区, 在功能分区的划分中需要考虑地形、街区分布等因素。为增强城市水网规划的合理性, 实现生态平衡和可持续发展, 本文提出基于遥感图像三区光谱特征的水网城市区域规划协调控制方法, 利用遥感技术采集目标区域地物信息, 经过图像预处理、光谱特征提取等过程为功能区分类奠定良好的信息基础; 利用最邻近分类方法建立分类体系, 根据不同功能区的特征, 将其划分为优先功能区、一般用水功能区 and 冲突协调区, 实现城市水网自动规划。得到的分类结果能够为城市水网规划者提供借鉴与参考, 解决河网、湖区及水资源调度等多种模拟对象的协调控制问题。通过水网城市区域规划协调控制完善河流结构, 加强水系连接程度。划分功能区, 兼顾其它生态要素, 使规划具有合理性, 增强规划效果, 不仅可以起到保护环境的作用, 还要促进我国社会发展。

#### 参考文献:

- [1] 唐寅, 王中根, 王婉清, 等. 适用于遥感影像的水生态空间多功能分类体系研究 [J]. 地理科学进展, 2020, 39 (3): 454-460.
- [2] 杨国亮, 李放, 朱晨, 等. 改进 MobileNetV2 网络在遥感影像场景分类中的应用 [J]. 遥感信息, 2020, 35 (1): 1-8.
- [3] 曹敏. 基于深度学习的遥感图像识别技术应用研究——评《基于深度神经网络的遥感图像分割》 [J]. 有色金属工程, 2021, 11 (12): 132.
- [4] 王云艳, 罗冷坤, 周志刚. 基于反卷积高层特征的遥感地物图像分类 [J]. 计算机工程与应用, 2020, 56 (11): 200-206.
- [5] 潘明阳, 刘乙赛, 李琦, 等. 基于改进 A~\* 算法的内河水网航线规划及应用 [J]. 上海海事大学学报, 2020, 41 (1): 40-45.
- [6] 边小勇, 费雄君, 穆楠. 基于尺度注意力网络的遥感图像场景分类 [J]. 计算机应用, 2020, 40 (3): 872-877.
- [7] 景维鹏, 张明伟, 林敬博. 一种神经网络架构搜索遥感图像分类方法 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2021, 26 (1): 25-29.
- [8] 徐志文, 王思远. 基于遥感影像的矿区水环境状态识别与检测——以珠江流域部分河段为例 [J]. 矿业安全与环保, 2021, 48 (2): 107-111.

(下转第 180 页)