

## 基于剖分理论的遥感影像模板数据模型

杜根远\*, 熊德兰, 张火林

(许昌学院 国际教育学院, 河南 许昌 461000)

(\*通信作者电子邮箱 xcdgy@163.com)

**摘要:**随着数据量的增加和应用需求的扩大, 遥感数据的高效组织管理和快捷处理速度已经成为制约遥感技术应用的瓶颈, 地球剖分理论和高性能计算为上述问题解决提供了一种可能途径。针对上述问题, 结合地球剖分模型, 在遥感影像剖分面片的研究基础上, 提出了剖分面片模板的概念模型及数据模型, 设计了基于剖分面片模板的计算模式, 构建了一个小型化剖分遥感影像模板数据库, 并通过一个模板化应用的具体实例对上述模型进行了部分验证。实验结果验证了模型的可行性, 提高了目标检索的效率。

**关键词:**遥感影像; 地球剖分模型; 剖分面片; 模板数据模型; 计算模式

**中图分类号:** TP701 **文献标志码:** A

### Data model of remote sensing image template based on partition theory

DU Genyuan\*, XIONG Delan, ZHANG Huolin

(International School of Education, Xuchang University, Xuchang Henan 461000, China)

**Abstract:** With the increasing amount of data and expanding of application demand, the efficient organizational management and rapid processing speed of remote sensing data have become a bottleneck in the application of remote sensing technology. The earth partition theory and high performance computing provide a possible way to solve the above problem. Combined with global partition model, the conceptual model and data model of partition facet template were proposed based on partition facet of remote sensing image. A computing mode of partition facets based on templates was designed, and a small partition template database was established. A specific example of partition image data template applications was also given for validation. The experimental results demonstrate the feasibility of the data model and improve the efficiency of targets retrieval.

**Key words:** remote sensing image; global partition model; partition facet; template data model; computing mode

## 0 引言

遥感(Remote Sensing)是通过某种传感器装置, 在远距离、不直接接触研究对象的情况下, 对目标进行测量、分析并判定目标性质的一门科学和技术<sup>[1]</sup>。利用遥感技术获取的数据具有实时性高、覆盖范围广、信息丰富客观等优点, 已被广泛应用于航空、航天、军事侦察、土地利用、灾害预报等诸多军事及民用领域<sup>[2]</sup>。随着传感器、遥感平台等相关技术的发展, 通过遥感获取的空间数据量急剧膨胀, 从而造成“空间数据的生产和传输能力远远大于空间数据解析能力”的局面; 同时, 应用领域对遥感影像的实时性、精度和可靠性要求也越来越高, 空间数据组织管理和处理速度已经成为遥感影像能否快捷应用的瓶颈, 这也促进了遥感影像高性能处理方法和技术的发展。

随着遥感应用研究与理论探索的深入, 尤其是在“数字地球”提出后, 遥感影像处理面临全球范围内连续、多层次、动态的环境资源和社会信息, 传统平面格网系统逐渐暴露出投影复杂、缺乏多尺度数据集成管理等局限性, 地球剖分理论

就是在这一背景下提出的。地学领域中的剖分是指对地理空间位置划分的方法, 它是以空间剖分组织框架为基础, 将地球剖分为形状规则、层次清晰、离散分布的面片(facet), 实现全球范围内海量数据存储、提取和分析, 解决传统平面数据模型在全球范围内多尺度、海量数据和层次数据上存在的局限性, 保证空间数据的全球统一组织、球面-平面一体化表达、多源空间数据快速整合等应用服务, 从而解决制约地球空间信息快速检索、高效整合、共享等一系列瓶颈问题<sup>[3]</sup>。

本文基于地球剖分理论, 结合地图分幅拓展的地球剖分模型(Extended model based on Mapping Division, EMD), 针对遥感影像剖分面片进行了研究; 在此基础上, 提出剖分面片模板的概念模型及数据模型, 设计了空间数据的剖分化流程, 提出了基于剖分模板的面片计算模式, 设计并实现了一个小型化剖分模板数据库, 并给出了剖分影像数据模板化应用的具体实例。该应用成果能有效促进海量空间信息的智能发现和更新, 减少海量数据的重复处理, 提高空间数据的利用效率, 具有一定的示范意义, 进而为研究遥感影像高性能处理提供借鉴。

收稿日期: 2013-10-15; 修回日期: 2013-12-14。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(U1304403); 河南省科技攻关项目(112102210079, 132102210398); 河南省基础与前沿技术研究资助项目(132300410349); 河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目(2010GGJS-177)。

**作者简介:**杜根远(1974-), 男, 河南鄢陵人, 副教授, 博士, CCF 高级会员, 主要研究方向: 空间信息、图像智能处理; 熊德兰(1980-), 女, 河南固始人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 空间信息; 张火林(1980-), 男, 湖北黄冈人, 讲师, 硕士, CCF 会员, 主要研究方向: 并行处理。

## 1 地球剖分理论及 EMD 剖分模型

地球剖分理论是一种多层次、多尺度的基于全球格网划分的数据组织方式,在空间信息表达与管理上具备独特的优势<sup>[4]</sup>。该理论研究如何将地球表面剖分为形状规则、变形较小的层状面片(剖分面片或面片),是一种新的基于全球,支持多分辨率、多尺度变换,空间位置分布均匀,融合空间索引机制,无缝、开放的层次性空间数据管理框架,能够实现全球范围内海量数据存储、提取和分析,克服传统数据模型在全球范围内多尺度、海量数据和层次数据上存在的局限性,保证全球空间数据的空间表达是全球的、连续的、层次的和动态的模型<sup>[5-8]</sup>。

地球剖分理论研究的核心问题是剖分模型的构建,即以何种方式对地球进行多级划分,剖分后的面片应该是何种形状、如何编码等问题。目前国内外研究成果大致可分为经纬度格网模型、正多面体格网模型和自适应格网模型三类,剖分方法可归纳为多面体剖分、经验剖分和小波划分三种<sup>[9-10]</sup>。典型剖分模型有四元三角网(Quaternary Triangular Mesh, QTM)模型<sup>[11]</sup>、球面三角区域四叉树剖分(Spherical Triangle Quadtree based on Icosahedron and ERLRP, STQIE)模型<sup>[12]</sup>和空间信息多级网格(Spatial Information Multi-Grid, SIMG)模型<sup>[13]</sup>等。剖分模型一般采用四叉树结构和剖分编码来组织剖分面片,实现不同层级之间以及同一层级中不同面片之间相互关联的全球遥感影像体系。但有些剖分模型会存在计算复杂、剖分面片变形严重等问题,如经纬度格网模型存在高纬度地区变形严重、模型难以实际应用,正多面体格网模型映射关系计算量大且空间数据组织复杂,自适应格网模型很难进行递归划分、进行多尺度海量数据的关联和其他操作,所以很难满足宏观空间信息处理所需的高效率要求。

北京大学程承旗教授在融合国内外各种球面剖分模型优点基础上,提出了基于地图分幅拓展的地球剖分模型<sup>[14-16]</sup>。该模型的主要思想是对于高纬度地区,采用“正多面体”以三角形进行剖分的方法,实现空间数据的组织;对于中低纬度区域,采用基于地图分幅的“等经纬度格网”剖分方法,继承并拓展了地图分幅自身良好的剖分特性<sup>[16]</sup>。该模型以地图分幅体系为子集,对其进行拓展,实现了遥感数据、测绘数据及地图数据的统一组织和管理。除具有其他剖分模型的优点外,该模型与现有空间数据及坐标表达存在简单明确的对应关系,与现有的测绘基础能较好的融合,已有的海量空间数据能简单方便地纳入该组织体系中,具有较强的实用性。

EMD 模型从四级至六级剖分按照地形图分幅的划分规则进行,即三级面片四等分得到四级剖分面片,面片大小为  $3^{\circ} \times 2^{\circ}$  (经差  $\times$  纬差);四级面片四等分得到五级剖分面片,面片大小为  $1^{\circ}30' \times 1^{\circ}$  (经差  $\times$  纬差);五级面片九等分得到六级剖分面片,面片大小为  $30' \times 20'$  (经差  $\times$  纬差)。三个级别的面片分别对应比例尺 1:50 万、1:25 万和 1:10 万的分幅范围<sup>[16]</sup>。EMD 模型从第七级剖分面片开始,递归进行等经差等纬差四叉树剖分,标识方法参照 Hilbert 曲线进行填充。七级到十级面片分别对应 1:5 万、1:2.5 万、1:1 万、1:5 000 的地图分幅范围;而第十一级面片相当于 1:2 000 的图幅范围;依此类推。其他级别剖分和极地剖分方案以及标识码规则参见文献<sup>[16]</sup>。

EMD 剖分模型的面片地址编码模型由中低纬度编码和高纬度编码组成。中低纬度编码( $0^{\circ} \sim 88^{\circ}$ )的第一级到第六级面片采用行序编码方式,第七级及以上面片采用 Hilbert 曲线进行空间顺序标识,高纬度编码( $88^{\circ} \sim 90^{\circ}$ )采用 QTM 编码形式。编码结构及编码生成方法参见文献<sup>[16]</sup>。

## 2 剖分面片模板数据模型

### 2.1 剖分面片模板概念模型

剖分面片是地球剖分模型中分级划分出来的形状规则、变形较小的多尺度离散分割单元,具有地理空间位置范围准确、几何形态规则、层级结构分明、编码标识唯一等特征。剖分面片的主要参数包括编号、剖分层次、角点坐标、定位点坐标、面积、边长、位置、曲率、投影面积、变换精度等。剖分面片编码是全球唯一的,且可与各种常用坐标系进行相互转换。

剖分遥感影像面片模板,简称剖分面片模板,是面片的空间特征集,可提取自高精度处理的遥感影像,也可以是与该面片相关联的其他空间数据。剖分面片模板是与剖分面片相对应的指定区域遥感影像的数据样本,能够建立抽象剖分模型与具体遥感影像之间的关联,能够快速识别判断未知遥感影像所属的剖分面片。如特征明显的遥感正射影像,包含面片空间特征集、地理特征集和面片控制点等数据,具有面片的所有优点。根据数据处理需求的不同,可以存在不同的应用需求模板,一种模板对应于一个具体的剖分数据处理算法。

### 2.2 剖分面片模板数据模型

剖分面片模板由面片信息、模板类型、模板数据组成。面片信息包括与剖分面片相对应的编码、层次、形状、面积、空间位置、投影变换等信息;模板类型对应具体的剖分处理算法,可以由模板管理模块创建;模板数据是指定剖分面片对应的基准遥感影像信息,包括分辨率信息、坐标信息、像素信息及空间实体的颜色、纹理、形状等特征信息。剖分模板元数据包括数据格式、数据类型、数据文件算法接口、数据处理算法接口,其中,数据文件算法负责生成和解析数据文件,数据处理算法负责使用模板数据进行空间数据处理。

剖分模板数据模型如图 1 所示,概念模型层描述剖分面片模板的统一接口和抽象模型,是各类模板设计的基础;数据模型层包括基准影像数据和各类模板数据;操作定义层由针对数据层各类模板的具体算法组成,并可根据数据层的数据类型进行操作定制。

操作定义层	配准	投影变换	拼接镶嵌	目标检索	地形分析
数据模型层	基准影像数据	控制点数据	特征数据	高程数据	
概念模型层	模板编码	高程数据剖分	特征重组	控制点量测	

图1 剖分面片模板数据模型

## 3 基于模板的剖分面片计算模式

基于模板的剖分面片计算模式整体工作框架如图 2 所示。

### 3.1 空间数据快速剖分化处理流程

如图 3 所示,地球空间数据进入剖分体系后,首先进行数据预处理;然后根据空间数据元数据中所提供的分辨率/比例尺信息,确定该数据在剖分模型中的级数,即剖分层次;根据数据中心点的经纬度坐标确定所对应的中心剖分面片位置;之后,根据待处理空间数据的左上、右下角经纬度坐标,按照剖分面片的大小对空间数据进行剖分处理,确定该数据所在

剖分面片的范围;判断该数据是否在同一剖分单元内,若是则进行剖分编码可得到按剖分面片组织的空间数据,否则把所包含的面片集合与影像数据进行叠加分析,数据经剪裁后部分与剖分单元进行包含分析,对相应剖分面片,按照剖分组织理论中的面片地址码对剖分面片进行编码,按照剖分编码对数据进行组织,得到按剖分面片组织的空间数据。

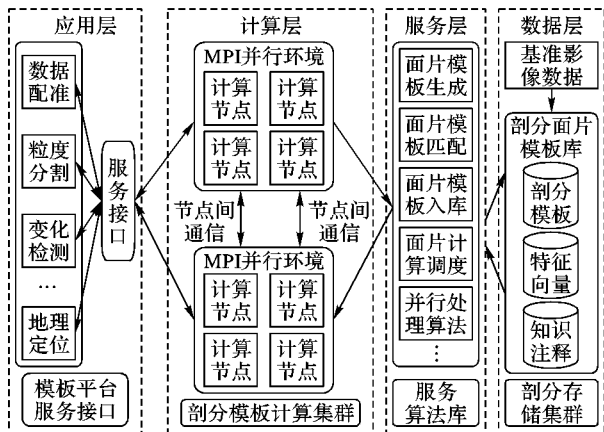


图2 基于模板的剖分面片计算模式工作框架

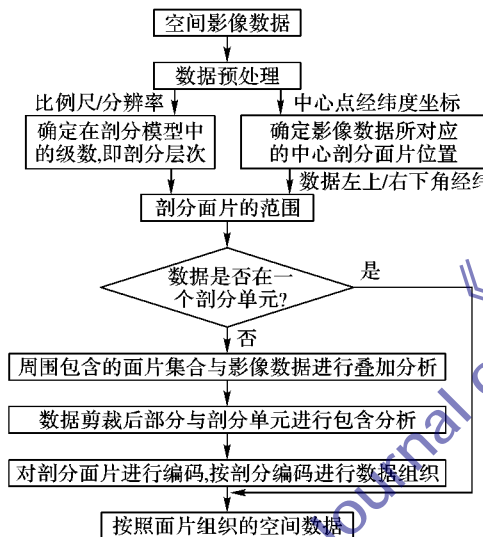


图3 空间数据剖分化处理流程

### 3.2 基于模板的剖分面片计算模式

剖分影像结构化模型是剖分面片计算的关键和基础。遥感影像数据按照地球剖分理论进行组织,使影像数据块、像素和剖分面片建立一定的对应关系。利用剖分架构中的结构化剖分面片,可以将影像数据表达为剖分结构化影像,其数据模型利用剖分面片的多尺度层次性及剖分面片编码的全球唯一性,结合影像金字塔和空间填充曲线,使得遥感影像数据具有多层次性,数据单元可以直接进行索引和计算。构建剖分影像结构化模型主要考虑分层和分块策略。分层策略可根据数据源情况灵活调整,在多源数据建立影像金字塔的选择上有较大灵活性,可以尽量保证图像精度和减少数据计算;分块策略是为了提高影像数据 I/O 访问的效率,一般选择  $2'' \times 2''$  像素作为影像数据标准面片大小,同时记录各影像块的块编码、地理坐标范围等信息。

基于模板的剖分面片计算模式的基本思想:模板作为剖分面片计算的基本单元,在适当的剖分层级、适当的范围内

以每个面片为单元建立基准影像,根据面片信息、影像信息及应用需要创建剖分模板,当处理某区域的数据时,可从模板库中提取相应的影像面片模板用于计算,从而实现影像的快速剖分化并行处理,为相关应用提供支持。

EMD 剖分模型具有点面二相性,每一层级剖分在局部区域内的剖分粒度相对比较均匀。因为剖分数据空间连续性、分布式存储、多面片间容易实现并发执行,可以实现在计算节点间的并行处理;因为剖分数据的空时记录存储和剖分数据格式的內部组织,可以实现在同一计算节点内部的并行处理。基于模板的剖分面片计算模式如图4所示。

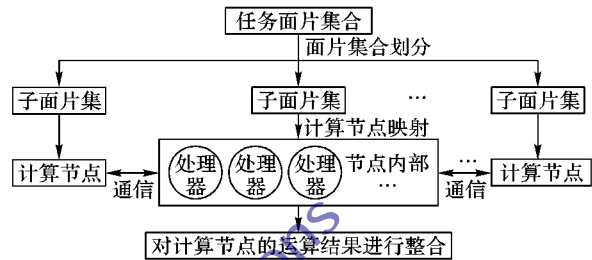


图4 基于模板的剖分面片计算模式

基于模板的剖分面片计算模式包括两个方向的计算,在纵向方向上包含面片的聚合、分裂等操作,在横向方向上包含面片的扩展、收缩等操作。其中聚合表示若干个同级面片聚集得到一个高层级的面片,主要涉及同级面片的位置关系组合、面片数据结构调整等;分裂表示一个高级别面片分裂为若干个低层级面片,主要涉及面片的分割、控制点调整、高精影像的选取等;扩展表示相邻同级面片直接的拼接、镶嵌,组成大的临时视图。

## 4 剖分模板数据库系统构建

### 4.1 模板数据库功能架构

剖分面片模板数据库是按照剖分模板数据模型所建立的标准化正射遥感影像集合,是剖分面片的“DNA 特征库”,能够实现全球任意地区遥感影像的统一管理、定位和共享。模板库的存储采用与剖分面片类似的多层次、分布式剖分集群存储方案。

模板库具有模板存储、模板索引、模板组合等功能模块。存储模块负责将各类模板数据根据其对应的面片存入存储集群,模板数据以二进制文件方式进行存储,文件本身的生成和解析则由模板调度系统统一管理;索引模块负责生成全球模板的索引大表,便于模板的快速提取和更新;由于具体的计算需求所涉及的区域不一定完全按照面片的范围,需要从现有的面片模板中进行组合,来生成任意区域的模板。模板计算调度系统负责模板统筹管理,接收计算任务,调度计算资源等,包括模板管理、模板数据、任务调度、计算资源调度等模块。

### 4.2 剖分面片模板数据库实现

根据剖分遥感影像结构化处理流程,选取特定地区高精度影像,利用 ERDAS 等遥感影像处理软件进行几何校正、特征提取;结合 EMD 剖分模型中第八至十级面片的区域范围和形状特征对遥感影像进行分割处理,基于剖分面片形成相对应的剖分模板,按照文件块号统一存储和管理,建立基准模板影像数据库;同时提取分后影像的典型地物以及颜色、形状、



轮廓等特征,建立特征信息库并进行人工注解说明。

模板数据库中主要表结构及联系如图5所示。数据表主要有 ImageTable(模板影像记录表)、BlockTable(模板影像块表)、TemplatesTable(模板信息表)、FeaturesTable(模板特征信息表)、CommentsTable(模板注释表)等,表之间通过主键、外键等建立联系。

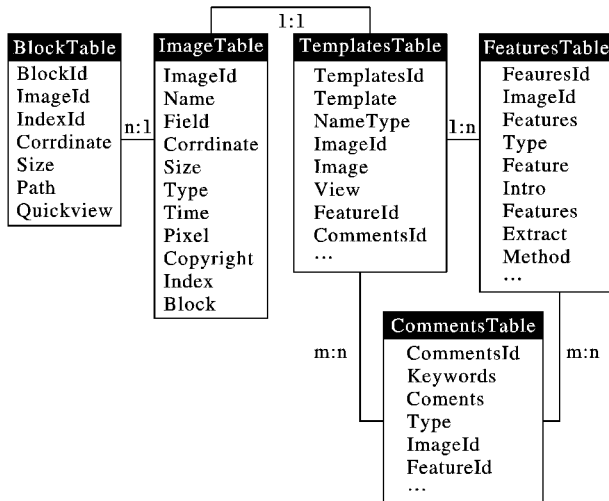


图5 模板库主要数据表及其关系

目前,该模板数据库已经完成遥感影像剖分化模板生成、入库、可视化、检索等基本流程和功能,并结合 ERDAS、ENVI 等软件提取模板影像典型地物的颜色、形状、纹理等特征信息,形成了剖分模板特征向量库。

#### 4.3 典型应用实例

基于模板的剖分面片计算模式典型应用思路:遥感影像数据剖分化处理;形成剖分面片集合;针对剖分面片形成对应模板;模板入库;针对特定应用需求进行处理。其典型应用包括影像检索、影像实时处理、情报快速整编等。

在此基础上,初步尝试对河南省内旅游景区的遥感影像数据进行剖分模板化处理研究,形成了具有一定示范意义的典型应用。在 Ubuntu 12.04 server 环境下利用 5 台 DELL 四核 CPU 机器,搭建小型并行处理平台。选取分辨率为 2.5 m、5 m、10 m 三个等级的遥感影像作为原始影像数据。对遥感影像进行剖分化处理,特征提取后形成剖分模板数据库,采用 VC++ 进行用户界面设计。该系统可以跨地区(面片)对局部影像块的原始模板进行检索和显示,如检索“河南 and 旅游 and 温泉”,得到相关影像记录 3 条,选择某一检索结果,可以看到其基本信息,如图 6 所示。相比其他遥感影像处理系统,该小型应用系统具有图像显示快速、特征信息直观等优点。

## 5 结语

目前,空间数据越来越广泛地应用于几乎所有的军事和民用领域,随着应用需求的扩大带来了空间数据爆炸式的增长,与此同时空间数据处理算法也日益繁多,空间数据的解译和利用面临着高效组织、有序存储、合理的编程模型等难题。本文在地球剖分理论和 EMD 剖分模型的研究基础上,提出了一种基于遥感影像剖分面片模板的计算模式,设计了模板的概念模型及数据模型,通过一个小型化剖分模板数据库和具体应用实例对上述设计进行了部分验证。结果表明该成果对

于提高空间信息快速可视化表达与分析、目标探测、识别以及决策反应速度,缩短空间信息应用准备时间,具有一定的示范意义。但如何构建一个大型完整的应用系统并完善和拓展其应用领域,仍待作进一步深入的研究。



图6 基于面片模板的遥感影像检索示例

#### 参考文献:

- [1] MATHER P, KOCH M. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction [M]. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
- [2] YAO J, WU J, NIU W, et al. Remote sensing service discovery mechanism based on trusted QoS clustering [J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(2): 587-591. (姚建华, 吴加敏, 牛温佳, 等. 基于可信 QoS 聚类的遥感服务发现机制[J]. 计算机应用, 2013, 33(2): 587-591.)
- [3] CHENG C, REN F, PU G, et al. Introduction to spatial information subdivision organization [M]. Beijing: Science Press, 2012. (程承旗, 任伏虎, 濮国梁, 等. 空间信息剖分组织导论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.)
- [4] YUAN W, CHENG C, MA A, et al. L curve for spherical triangle region quadrees [J]. Science in China: E series, 2004, 34(5): 584-600. (袁文, 程承旗, 马嵩乃, 等. 球面三角区域四叉树 L 空间填充曲线[J]. 中国科学: E 辑, 2004, 34(5): 584-600.)
- [5] GOODCHILD M F. Discrete global grids for digital earth [C/OL]// Proceedings of the 2000 International Conference on Discrete Global Grids. [2013-06-07]. <http://www.ncgia.ucsb.edu/global-grids/papers/goodchild.pdf>.
- [6] CHENG C, SONG S, WAN Y, et al. Preliminary studies on geospatial information code model based on global subdivision model [J]. Geography and Geo-Information Science, 2009, 25(4): 8-11. (程承旗, 宋树华, 万元鬼, 等. 基于全球剖分模型的空间信息编码模型初探[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(4): 8-11.)
- [7] TONG X. The principles and methods of discrete global grid systems for geospatial information subdivision organization [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2011, 40(4): 536. (童晓冲. 空间信息剖分组织的全球离散格网理论与方法[J]. 测绘学报, 2011, 40(4): 536.)
- [8] DU G, MIAO F, XIONG D. Service model of spatial data storage scheduling based on subdivision theory [J]. Computer Science, 2012, 39(8): 263-268. (杜根远, 苗放, 熊德兰. 一种基于剖分的空间数据存储调度服务模型[J]. 计算机科学, 2012, 39(8): 263-268.)

(下转第 1181 页)

应大尺度模糊的参数估计,且抗噪性能得到进一步提升。

#### 参考文献:

- [1] LEE J, FATHI A S, SONG S. Defocus blur estimation using a cellular neural network [C]// CNNA 2010: Proceedings of the IEEE 12th International Workshop on Cellular Nanoscale Networks and Their Application. Piscataway: IEEE, 2010: 1-4.
- [2] EDMUND Y L. Digital restoration of defocus images in wavelet domain [J]. *Applied Optics*, 2002, 41(23): 4806-4811.
- [3] LI N, LU X. Hybrid model and parameter estimation combining defocus and motion blur [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2011, 32(11): 2523-2529. (李楠, 路小波. 散焦和运动模糊复合模型及参数估计 [J]. *仪器仪表学报*, 2011, 32(11): 2523-2529.)
- [4] ZHAO L, JIN W, CHEN Y, *et al.* Blind restoration for defocus blurred image based on autocorrelation of derivative image [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(9): 1703-1709. (赵琳, 金伟其, 陈翼男, 等. 基于微分图像自相关的离焦模糊图像盲复原 [J]. *光学学报*, 2008, 28(9): 1703-1709.)
- [5] ZHAO L, JIN W, HUANG Y, *et al.* Analysis on super-resolution blind restoration algorithm of defocus blurred image [J]. *Optical Technique*, 2010, 36(1): 75-78. (赵琳, 金伟其, 黄有为, 等. 离焦模糊图像超分辨率盲复原算法分析 [J]. *光学技术*, 2010, 36(1): 75-78.)
- [6] WANG W, FANG W. Blind separation of single-channel permuted defocus blurred image [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 17(1): 62-67. (王伟, 方勇. 单通道散焦模糊置换图像的盲分离 [J]. *中国图象图形学报*, 2012, 17(1): 62-67.)
- [7] ZHENG C, LI R, CHANG H. Restoration of defocus blurred digital image using Wiener filter in frequency domain [J]. *Laser Journal*, 2004, 25(5): 57-58. (郑楚君, 李榕, 常鸿森. 离焦模糊数字图像的 Wiener 滤波频域复原 [J]. *激光杂志*, 2004, 25(5): 57-58.)
- [8] LIU K, YANG J, QUAN J, *et al.* Blur identification and restoration of images with out-of-focus blur [J]. *Acta Automatica Sinica*, 1994, 20(1): 58-65. (刘克, 杨静宇, 权军, 等. 离焦图像模糊辨识及复原方法研究 [J]. *自动化学报*, 1994, 20(1): 58-65.)
- [9] WU Z, DU S, YAO H. Restoration and identification of defocus blurred image based on in-focus degree [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(4): 772-776. (吴振宇, 杜少军, 姚洪利. 采用聚焦度量的散焦模糊图像参数鉴别及复原 [J]. *红外与激光工程*, 2011, 40(4): 772-776.)
- [10] ZOU M. Deconvolution and signal recovery [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2001. (邹谋炎. 反卷积和信号复原 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.)
- [11] ZHOU Q, YAN G, WANG W. Cepstrum based analysis for blur image combining defocus and motion blur [J]. *Optical Technique*, 2007, 33(6): 910-914, 917. (周曲, 颜国正, 王文兴. 倒谱在混合模糊图像分析中的应用 [J]. *光学技术*, 2007, 33(6): 910-914, 917.)
- [12] ZHOU Q, YAN G, WANG W. Cepstrum analysis based parameter estimation for defocus blur image [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(3): 318-321. (周曲, 颜国正, 王文兴. 基于倒谱分析的散焦模糊图像参数识别 [J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2008, 33(3): 318-321.)
- [13] ZHOU Q, YAN G, WANG W. Application of correlation analysis to parameter recognition for blur image [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 15(6): 988-995. (周曲, 颜国正, 王文兴. 相关系数分析在模糊图像参数识别中的应用 [J]. *光学精密工程*, 2007, 15(6): 988-995.)
- [14] ZHU H, OUYANG G, LIANG M, *et al.* Blur parameter identification method based on spectrum correlation with reference image [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2012, 33(8): 1837-1843. (朱虹, 欧阳光振, 梁敏, 等. 一种基于参考图像频谱相关的模糊参数判别方法 [J]. *仪器仪表学报*, 2012, 33(8): 1837-1843.)
- [15] TAN Y. Research on natural images' processing theory and method [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2004. (谭郁松. 自然图像处理理论和方法研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2004.)

(上接第 1168 页)

- [9] SAHR K, WHITE D, KIMMERLING A. Geodesic discrete global grid systems [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2003, 30(2): 121-134.
- [10] GUAN L, CHENG C, LYU X. Study on the organization model for vector data based on global subdivision grid [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2009, 25(3): 23-27. (关丽, 程承旗, 吕雪峰. 基于球面剖分格网的矢量数据组织模型研究 [J]. *地理与地理信息科学*, 2009, 25(3): 23-27.)
- [11] DUTTON G. A hierarchical coordinate system for geoprocessing and cartography: working through the scales [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1999.
- [12] YUAN W, ZHUANG D, YUAN W, *et al.* Some essential questions in remote sensing science and technology [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2009, 13(1): 103-111. (袁文, 庄大方, 袁武, 等. 基于等角比例投影的球面三角四叉树剖分模型 [J]. *遥感学报*, 2009, 13(1): 103-111.)
- [13] LI D. On generalized and specialized spatial information grid [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(5): 513-520. (李德仁. 论广义空间信息网格和狭义空间信息网格 [J]. *遥感学报*, 2005, 9(5): 513-520.)
- [14] GUAN L, LYU X. Properties analysis of geospatial subdivision grid framework for spatial data organization [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2012, 48(1): 123-132. (关丽, 吕雪峰. 面向空间数据组织的地理空间剖分框架性质分析 [J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2012, 48(1): 123-132.)
- [15] DONG F, CHENG C, GUO S. Research on spatial relationships calculation model based on EMD subdivision architecture [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2012, 48(3): 444-450. (董芳, 程承旗, 郭仕德. 基于 EMD 的剖分空间关系计算模型初探 [J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2012, 48(3): 444-450.)
- [16] CHENG C, GUAN L. The global subdivision grid based on extended mapping division and its address coding [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2010, 39(3): 295-302. (程承旗, 关丽. 基于地图分幅拓展的全球剖分模型及其地址编码研究 [J]. *测绘学报*, 2010, 39(3): 295-302.)