

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **10**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年10月 第17卷 第10期(总第198期)

目次

综述

张量值图像插值方法综述 邵宇, 刘莹, 孙富春(1197)

图像处理和编码

利用模运算及其周期性特点的安全隐写算法 廖琪男(1206)

结合快速融合与颜色传递的双波段夜视图像染色 李郁峰, 冯晓云, 徐铭蔚, 黄文丽(1213)

Weber 定律下尺度空间的自适应构建 刘立, 张瑞军, 万亚平, 黄欣阳, 彭复员(1222)

改进权值函数的非局部均值去噪算法 单建华(1227)

图像分析和识别

非相似度保持投影 陈才扣, 侯钰(1232)

非正交二值子空间模板表示的并行生成 杨培, 武港山, 杨扬, 任桐炜(1237)

Adaboost 和随机图划分的无监督图像分类 李巍, 杨素锦, 段晓华(1245)

aiNet 背景抑制的单帧红外弱小目标检测 陈炳文, 王文伟, 秦前清(1252)

韦伯-中心环绕结构的图像显著性检测模型 林丽莉, 周文晖(1261)

气象传真图信息提取 李存东, 肖传毅, 潘海朗, 陈日清, 杨劲松(1268)

图像理解和计算机视觉

多要素空间场景相似性匹配模型及应用 宋腾义, 汪闽(1274)

计算机图形学

Delaunay 三角网通用合并算子及分治算法的简化 刘永和, 冯锦明, 郭维栋, 田根, 金毅(1283)

基于 Laplace 谱嵌入和 Mean Shift 的三角网格一致性分割 马亚奇, 李忠科, 赵静(1292)
断裂面匹配的破碎刚体复原 李群辉, 周明全, 耿国华(1298)

虚拟现实与增强现实

核爆炸外观景象实时模拟 郑涛, 徐晓刚, 邵承永(1305)

医学图像处理

全局脑白质纤维群智能跟踪算法 冯远静, 王哲进, 张贵军, 俞立(1312)

遥感图像处理

对偶四元数线阵遥感影像几何定位 盛庆红, 姬亭, 刘微微, 王惠南(1319)

修正安装矩阵提高 FY-3B/MERSI 的地理定位精度 吴荣华, 杨忠东, 关敏, 李翔翔(1327)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 10 期

2012 年 10 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa.ac.cn
电话:010-64807995 010-82614429
网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 10 October 2012

Contents

Review

Overview of tensor valued images interpolation technology Shao Yu, Liu Ying, Sun Fuchun (1197)

Image Processing and Coding

Secure steganography based on modulo and its cyclical characteristic Liao Qinan (1206)

Night vision dual-band images coloration using fast fusion and color transfer
..... Li Yufeng, Feng Xiaoyun, Xu Mingwei, Huang Wenli (1213)

Adaptive algorithm of scale-space construction method based on Weber's law
..... Liu Li, Zhang Ruijun, Wan Yaping, Huang Xinyang, Peng Fuyuan (1222)

Non-local means denoising algorithm with enhanced weight function Shan Jianhua (1227)

Image Analysis and Recognition

Dissimilarity preserving projection Chen Caikou, Hou Yu (1232)

Parallel algorithm for generating template representation based on non-orthogonal binary subspace
..... Yang Pei, Wu Gangshan, Yang Yang, Ren Tongwei (1237)

Unsupervised image categorization based on Adaboost and stochastic graph partition Li Wei, Yang Sujin, Duan Xiaohua (1245)

Infrared dim target detection in single image based on background suppression by aiNet
..... Chen Bingwen, Wang Wenwei, Qin Qianqing (1252)

Image saliency detection model with Weber's law based on center-surround structure Lin Lili, Zhou Wenhui (1261)

Information extraction from meteorological facsimile maps
..... Li Cundong, Xiao Chuanyi, Pan Hailang, Chen Riqing, Yang Jinsong (1268)

Image Understanding and Computer Vision

Multi-feature based spatial scene matching model and its application Song Tengyi, Wang Min (1274)

Computer Graphics

Merging planar Delaunay triangulations based on universal operators and the implementation of a divide-conquer algorithm
..... Liu Yonghe, Feng Jinming, Guo Weidong, Tian Gen, Jin Yi (1283)

Consistence segmentation of triangle mesh using Laplace spectral embedding and Mean Shift
..... Ma Yaqi, Li Zhongke, Zhao Jing (1292)

Reassembly of broken 3D solids based on fractured surfaces matching Li Qunhui, Zhou Mingquan, Geng Guohua (1298)

Virtual Reality and Augmented Reality

Real-time simulation of nuclear explosion scene Zheng Tao, Xu Xiaogang, Shao Chengyong (1305)

Medical Image Processing

Global white matter tractography using swarm optimization Feng Yuanjing, Wang Zhejin, Zhang Guijun, Yu Li (1312)

Remote Sensing Image Processing

Geo-positioning line-array CCD images with dual quaternion Sheng Qinghong, Ji Ting, Liu Weiwei, Wang Huinan (1319)

Improved FY-3B/MERSI geolocation accuracy using installation matrix
..... Wu Ronghua, Yang Zhongdong, Guan Min, Li Xiangxiang (1327)

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)10-1274-09

论文引用格式: 宋腾义, 汪闽. 多要素空间场景相似性匹配模型及应用[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(10): 1274-1282.

多要素空间场景相似性匹配模型及应用

宋腾义, 汪闽

南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046

摘要: 提出综合考虑空间对象的面积、属性及其相互间的拓扑、方位关系等多要素的空间场景相似性匹配模型。首先利用“逐步转变模型”和属性关系图实现场景语义建模,而后构建场景匹配模型,利用所提出的相似度指标评价场景间的相似性。该模型能够较为客观地刻画空间场景特别是地理场景的语义内涵,并且具有很好的场景匹配效果,在空间数据的智能查询检索上具有较好的应用前景。

关键词: 空间场景;空间关系;拓扑;方位;相似性匹配;遥感图像检索

Multi-feature based spatial scene matching model and its application

Song Tengyi, Wang Min

Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Ministry of Education, Nanjing 210046, China

Abstract: A spatial scene is a set of objects along with their spatial and, non-spatial attributions and their mutual spatial relationships. In this study, we propose a spatial scene-matching model considering the object area, attribution, topology, and orientation relationships. We first build a scene semantic description model by combining the “gradual change” model and attributed relationship graph (ARGs). We then construct our scene-matching model that evaluates the scene similarity by the self-proposed similarity measures. This method objectively describes semantics of spatial, especially geographic scenes, and performances well on spatial scene matching. It has a good prospect in intelligent retrieval of spatial data.

Key words: spatial scene; spatial relationship; topology; orientation; similarity matching; remote sensing image retrieval

0 引言

空间场景是空间对象及其相互间各种关系的综合体^[1-2]。场景查询则是通过提供一个查询条件或查询模板,从空间数据库中寻找和需求接近的其他场景的过程。和仅基于对象属性的查询模式不同,场景查询更接近人的空间认知和检索习

惯,是高度智能化、综合化的空间查询方式,在提高地理信息系统信息检索的智能化水平方面能够发挥重要作用^[3-4]。实现场景查询的前提是对场景中所包含的各种语义信息,包括对象语义(类别属性)、几何属性(如周长、面积、形状等),对象间所具有空间关系(包括拓扑、方位、距离等)进行客观描述,建立起综合多要素的场景语义描述模型。对象的几何和属性信息描述较为简易,两两对象

收稿日期:2011-10-11;修回日期:2012-04-26

基金项目:国家自然科学基金项目(41171321,40871189);江苏省属高校自然科学重大基础研究基金项目(11KJA420001);江苏省青蓝工程资助项目

第一作者简介:宋腾义(1987—),男,南京师范大学地图学与地理信息系统专业硕士研究生,主要研究方向为遥感图像检索。E-mail: trustmi@163.com

通讯作者:汪闽,E-mail: sysj0918@126.com

间的单一空间关系描述也已具有较为成熟的模型与方法,如描述拓扑关系的四交、九交模型^[5-6];描述方位的锥形模型^[7]、字符串模型^[8]、基于投影的方位模型^[9],以及描述距离的相对距离关系^[10]等等。在此基础上,可比较方便地实现两对象、单一空间关系相似性评估。例如,可基于方位关系矩阵模型^[11],通过计算一个方位关系矩阵转变到另一个方位关系矩阵所需要的最小转换代价来衡量两个场景的相似度。

涉及多对象、多空间关系的场景建模和相似性匹配则相对复杂。在这方面,具有一定代表性的工作包括:1) Bruns 和 Egenhofer 所提出的“逐步转变(gradual change)”模型^[1]。在该模型中,一幅场景可以通过一系列空间关系的渐变转换成另一幅场景,所需要的最少转换步骤可以作为两幅场景相似度的衡量。2) EL-Kwae 和 Kabuka 所提出的 SIM_{DTC} 算法^[12]。在该算法中,两场景的相似性被定义为共有对象数和对象对间方位、拓扑相似度的加权和。3) Li 和 Fonseca 的 TDD (topology-direction-distance) 空间相似性描述模型^[3]。该模型给予拓扑、方位和距离不同的权重,考虑了相似性评估中的所谓共性和特殊性问题。4) Aksoy 用属性关系图(ARG)^[14-16]描述场景和进行场景相似性匹配的方法^[13]。在该方法中,场景相似性被转化为关系匹配和子图同型问题。其根据图的“编辑距离”,用 ARG 的一系列转换后变为另一个的代价来描述场景相似性。

总结目前场景相似性匹配方法,部分方法仅考虑了单一空间关系如方位、拓扑等语义特征,未能将多空间关系综合在一起进行相似性匹配,查询检索的智能化程度不高。部分方法综合考虑了拓扑、方位关系,但却仅考虑了由简单对象(如矩形对象)构成的场景而忽略对象面积、形状等因素在场景相似性匹配中所起的作用。作为具有典型性和特殊性的空间场景类型,地理场景往往具有对象数众多,大小及形状各异、对象分布及空间关系复杂多样等特点,为此其语义描述和相似性匹配过程更为复杂。针对地理场景的特点,提出综合考虑多要素的空间场景语义描述及相似性匹配模型,模型不仅将对象面积纳入考虑,而且实现了语义匹配中对象属性、面积、拓扑和方位语义的有机综合。通过实验分析发现,该模型能够较为客观地刻画空间场景特别是地理场景的语义内涵,并且具有很好的场景匹配效果,在空间数据智能

化查询检索上具有较好的应用前景。

1 场景匹配模型

1.1 设计思路

场景匹配定义为给定一个场景模板,从空间数据库中检索出在场景语义(包括对象面积分布、拓扑、方位关系)和模板最为相似的其他场景的过程。图 1(a)显示了仅由两个相邻对象构成的一种常见的空间场景。可能大多数人会认为场景 b 和 a 最为相似,这是因为场景 b 在对象数、拓扑、方位,以及面积比例上都和场景 a 高度一致。然而除此之外,要给出场景 c~h 公认的相似性排序并非易事。如仅考虑空间关系语义,则场景 c、d 在拓扑与方位关系上和场景 a 高度一致,应排在最前;如用户更为关心类别在场景中是否出现,以及类别在场景中的“地位”(如用户仅关心于查询绿地、水域面积占优的地理场景),则场景 e~h 由于对象间的面积关系和场景 a 更为接近,则它们应该排序比 c、d 靠前。综合考虑多要素的场景匹配应该是和应用需求高度相关的相似性评判过程,具有模糊性、主观性,但又有一定规则可循。本文提出了以空间关系为主导,对象语义为辅的场景相似性评估模型,实现了场景匹配过程中空间关系和对象面积分布相似性的综合考虑。

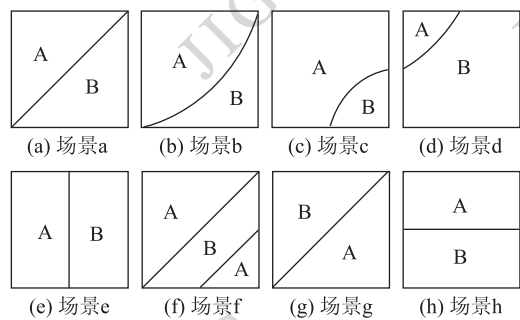


图 1 两类别空间场景

Fig. 1 A simple spatial scene with two classes

1.2 空间关系语义描述

空间关系相似性评估是实现场景相似性评估和匹配的核心与难点所在。将多对象之间的空间关系分解为两两对象间的空间关系并选用“逐步转变”模型对其进行相似性评估。类似于空间对象的形变过程中所造成空间关系的逐步改变,“逐步转变”模型通过所谓“概念邻居”的概念对对象间的拓扑、方

位、近似距离进行综合建模。基于该模型,一个场景能够通过拓扑、距离和方位上的逐步调整转变为另一个场景,这种转换所需要的步骤越少,两个场景则被认为是越相似。图 2 演示了两个相同大小矩形所组成的各种可能场景(为简化模型,没有考虑近似距离关系如近-远)。图 2 中每个节点代表一种场景,相邻节点说明两者是“概念邻居”而用边相连。可根据节点间的相邻关系实现场景概念距离的计算。例如,编号 41 的节点是两个对象重叠时的场景,它转变为编号 16 的场景(对象相离,方位为东北-西南)至少需要 3 步(如从 41→33→32→16),为此,两场景的差异性可定义为 3。

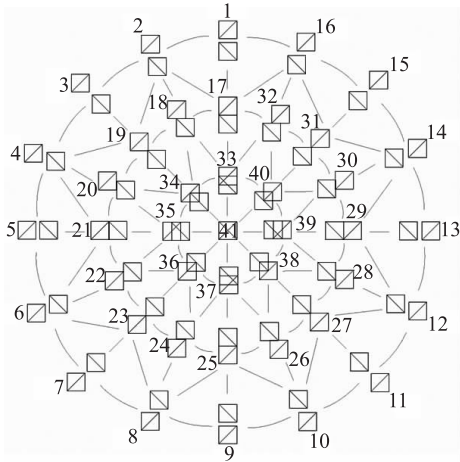


图 2 “概念邻居”示意

Fig. 2 “Conceptual Neighborhood” Model

“逐步转变”模型的优点是它不仅可实现多空间关系在场景相似性匹配中的统一考虑,而且给出了较为客观的定量化评估标准。但它在判断场景相似性的时候没有考虑对象的语义、面积以及形状等要素的影响,而且当对象数较多时,计算场景转变步骤将会变得非常复杂。本文仅利用该模型计算两两对象间空间关系的相似性,多对象复杂场景的综合空间关系相似性则通过结合 ARG 建模,并利用所提出的场景匹配模型进行评估。

1.3 场景语义建模

对于一个属性关系图 $G = (V, E)$,其中 V 为节点(代表对象), E 为边的集合(代表节点之间的关系);节点和边可用各种属性进行标注。图 3(a)显示了一个由 4 个不同类别组合而成的场景,图 3(b)则是其对应的 ARG。在本研究中,由于要考虑每个对象和场景中所有其他对象之间的空间关系,ARG 中的每个节点均和其他节点有边相连。节点属性包

括对象相对面积(即其面积占场景总面积的百分比)、对象类别;边为有向边,其属性是节点在“概念邻居”模型中的编号。

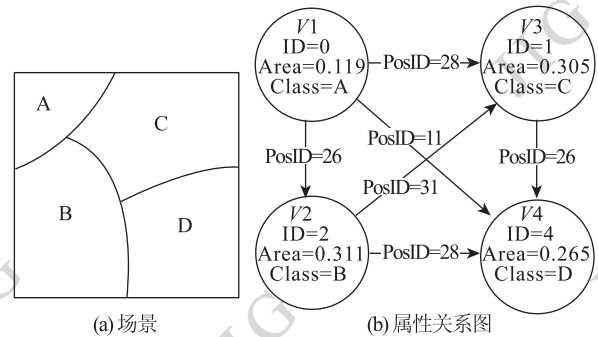


图 3 4 个对象的场景及其属性关系图

Fig. 3 A four-object scene and its ARG

1.4 场景匹配模型

场景匹配结果需满足如下约束条件:1)包含查询模板中所出现的所有语义类别;2)每类对象数不少于检索图像对应类别的对象个数。这两个条件是为控制结果集的规模以适合于空间数据库查询检索的实际需求。匹配模型的形式化描述如下:给定两个 ARG P 和 Q ,它们包含相同的语义类别,并分别包含 p, q 个对象,对象相对面积用 A_p^i, A_q^i 表示。定义 $F(\cdot)$ 是实现 P 到 Q 的相同类别的对象两两配对的某种映射关系,如 $F(i), F(j)$ 分别表示实现 P 中节点 i, j 到 Q 中节点 m, n 的配对关系,表示为 $V_p^i \rightarrow V_q^m, V_p^j \rightarrow V_q^n$,则 P, Q 的空间关系语义相似度定义为

$$S_s^{(P,Q)} = \sum_{i,j \in (1,p), i \neq j} s_edge(F(i), F(j)) \quad (1)$$

式中, s_edge 是 $E_p^{m,n}$ 与 $E_q^{i,j}$ 之间的相似性,定义为 6 减去 E-G 图中空间关系进行转换时产生的代价(6 为 E-G 图中的最长转换代价)。

P, Q 的对象语义相似度定义为

$$S_o^{(P,Q)} = \sum_{i \in (1,p)} s_node(F(i)) \quad (2)$$

式中, s_node 代表 V_p^i 与 V_q^m 在面积分布上的相似性。

可以对 S_s 与 S_o 进行加权求和以构成场景总体相似度指标。但这种方式的缺点是权重选取具有不确定性,不同参数得到的匹配结果差异较大。为避免该问题,首先利用 S_s 检索场景并按降序返回结果;如返回场景的 S_s 相等,则按 S_o 对其进行二次降序排序。该方式以场景间的空间关系相似性为主线实现场景匹配,但又顾及到对象面积在匹配中的作用。它避免了算法在参数设定上的主观性,提高了

匹配的稳定性。

1.5 场景匹配过程

1)统计查询模板场景 P 的所有对象的语义类别、面积、空间关系。方位空间关系采用两对象最小外接矩形间的 8 方向统计模型进行描述。考虑地理场景特点,用包含(等同相交)、相邻、相离关系描述两对象间拓扑关系,由此构建查询模板的 ARG。

2)查询场景库中包含查询模板中所有类别的其他场景,形成待匹配子集 $\{Q\}$ 。采用步骤 1)的方式构建其所有成员的 ARG。

3)计算 Q 和 P 的场景相似度。即遍历所有可能的全类别匹配模式,寻找空间关系语义相似度最大的一个。实际场景中对象数、类别数不定,为保证算法通用性,设计了如图 4 所示的分层有向图结构。表 1 给出了一个计算实例。表 1 中场景 P, Q 均包含 4 类、6 个对象。首先可排列组合得到同类别所有可能的匹配模式,而后通过同类匹配模式组合得到全类别匹配的所有模式,如 $1 \leftrightarrow 2, 2 \leftrightarrow 5, 3 \leftrightarrow 1, 4 \leftrightarrow 6, 5 \leftrightarrow 3, 6 \leftrightarrow 4$, 或 $1 \leftrightarrow 2, 2 \leftrightarrow 5, 4 \leftrightarrow 1, 3 \leftrightarrow 6, 5 \leftrightarrow 3, 6 \leftrightarrow 4$ 等。为方便转换,将每个匹配模式抽象为分层图的节点,图的每一层均为同类,同层节点代表所有同类匹配模式。同层相邻节点均用单向指针连接,相邻层之间的上层节点均存储指向下层首节点的单向指针,由此构成一个分层有向图。遍历算法从首层开始,每次取且仅取同层的一个节点。以上深度遍历过程以递归方式进行,最终获取所有全类匹配模式。

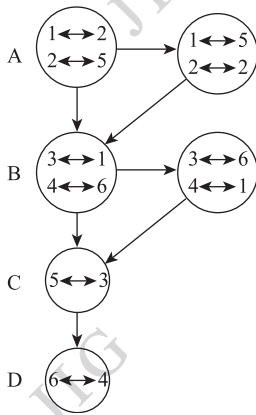


图 4 分层有向图结构

Fig. 4 Hierarchical directed graph

4)在所有全类匹配模式中,采用式(1)(2)计算 P, Q 的空间关系语义相似性和对应的对象语义相似性。本文的对象语义相似性用直方图相交的方式计算,即

$$S_{\text{Hist}}(P, Q) = \frac{\sum_{i=1}^L \min[H_p(i), H_q(i)]}{\sum_{i=1}^L H_p(i)} \quad (3)$$

式中, L 代表匹配对象总数, $H_p(i), H_q(i)$ 为每个对象的相对面积。采用相对面积可实现不同尺度(大小)的场景的相似性匹配,如同一场景存在尺度变化(缩放),匹配结果不变。

5)对 $\{Q\}$ 按场景匹配对象的空间关系语义相似性降序排序,当相似性相同时,用对象语义相似性进行二次降序排序。返回以上结果,算法结束。

表 1 匹配模式

Table 1 Matching scheme

类别	对象 ID 分布情况		P, Q 同类匹配模式
	P	Q	
A	1, 2	2, 5	$1 \leftrightarrow 2, 2 \leftrightarrow 5$ 或 $1 \leftrightarrow 5, 2 \leftrightarrow 2$
B	3, 4	1, 6	$3 \leftrightarrow 1, 4 \leftrightarrow 6$ 或 $4 \leftrightarrow 1, 3 \leftrightarrow 6$
C	5	3	$5 \leftrightarrow 3$
D	6	4	$6 \leftrightarrow 4$

2 实验分析

2.1 模拟场景检索

2.1.1 实验设计

为形成适合于算法分析且具有一定规模的地理场景库,设计了包含 2~3 个类别、2~5 个对象的模拟场景集作为算法的测试数据集。为保证模拟场景的代表性且贴近真实地理场景,场景库的构建过程是从两类对象出发,逐步进行对象间位置互换以及形变,从而形成新的场景。在此基础上,逐步增加对象个数,并进行类似的调整,进一步衍生出更多场景,最终形成包含 186 幅不同场景的场景库。

查询时,用户选择任意一幅场景作为模板,系统对场景库内其他场景进行查询,并根据空间关系语义相似度大小按降序返回查询结果,当该相似度相同时,按对象语义相似度进行二次排序。

此外,还选择了 SIM_{DTC} 算法进行方法对比。 SIM_{DTC} 综合了共同对象数、拓扑和方位相似性,和本文方法在原理上具有相似性。由于讨论的目标场景必须包含模板中所有类别的对象,为此该方法的共

同对象数因子不做考虑。此外,由于地理方位的现实意义,在该方法中不考虑旋转不变性。

由于场景查询的特殊性,常见的量化检索精度评价指标如查全率和查准率不适用,为此采用比较序列相似性的方式估量算法精度。其计算过程是,对于任何一个查询模板,首先得到机器、用户的排序序列,而后用 τ 系数^[16-17] 衡量两者的相似程度。 τ 系数定义为

$$H = \frac{V_1 - V_2}{V} \quad (4)$$

式中, V_1 代表有序对个数, V_2 代表未按顺序排列的序对个数, V 代表总的可能的序对个数,该值越大,人和机器所返回的序列的相似性越高,效果越好。 τ 系数计算时需指定序列长度,本文设置序列长度 $n = 6$ (也可指定更多数目,但挑选、计算的工作量增大)。

2.1.2 实验分析

图 5 显示了查询对象数为 2、3、4、5 时,分别采用以上两种查询方式所得到的结果。其中第 1 幅是查询模板,也是查询时返回的第 1 幅场景。每个对象均标注了类标签,当场景中存在相同类别的多个对象时,用字母数字组合的标签方式进行区分。查询模板和返回场景中相同标签的对象是匹配对象对。图下方数值对是空间关系语义和对象语义相似度。

从图 5 和图 6 中可以看出,两种方法的检索效果接近,返回的场景集重叠率较高,但在场景的排序上略有差别。 SIM_{DRC} 方法由于仅依据空间关系评估相似性,相似度相同的情况出现概率较大,而这可能会造成视觉效果差异较大的场景排序靠前。而由于考虑了对象面积相似性,本文方法的查询结果总体上要好于 SIM_{DRC} 方法。如采用两对象查询时,明显可以看出第 2、3 个返回场景的排序,以及采用 3 个对象查询时,第 2、3 个返回场景的排序,均更接近人的相似性判断,体现了“对象面积分布相似性”的作用。

此外,在不考虑旋转不变性条件下,发现本文方法对方位关系的细微差异较为敏感,而这会造成部分具高度相似性的场景排序偏后。以场景对象数等于 2 为例,由于方位计算结果略有偏差,本文方法所返回的第 2 幅场景就没有出现在该方法的前 6 幅结果中,而这显然是不够合理的(如考虑旋转不变性,则本例的所有场景其均将返回 1.0 的相似度,排序精度较低)。

2.2 地理场景检索

2.2.1 实验设计

将模型应用于遥感图像检索以对其有效性进行

进一步验证。实验收集了 1 景珠江口地区(成像时间 2005 年 5 月)、两景北京地区(2004 年 6 月与 10 月)10 m 分辨率的 SPOT-5 多光谱影像,两景南京和北京地区(2000 年 5 月与 2001 年 5 月)30 m 分辨率的 TM 多光谱影像,4 景庐山地区(2009 年 10 月)2 m 分辨率的 GeoEye 影像,以及 6 景南京地区(2007 年 5 月与 7 月)10 m 的 ALOS 多光谱影像。由于遥感图像是面向子区域查询匹配过程,为此将原始图像进行了裁切,方法是将图像分块并进行二叉树多尺度分解^[19],得到 400 幅 1024×1024 和 2 000 幅 512×512 大小,共计 2 400 幅子图像的检索图库。

为了获取图像的场景语义,首先利用面向对象分类技术^[20-23] 对图像进行分类,获取对象语义。其过程是:首先利用光谱形状特征结合的多精度图像分割方法对图像进行分割以获取特征基元^[24],而后利用支持向量机(SVM)^[25] 对图像进行分类,将图像划分为湖泊、林地、草地、建设用地、裸地和河流 6 种地物类型。通过代表性样本的选择和少量后处理,保证分类精度在 90% 以上。其次,采用和 2.1 节相同的方式获取分类图斑间的拓扑、方位信息并存储于数据库中。

检索时,首先根据对象语义进行粗检索,得到一个候选子集以缩小后续检索的搜索范围以提高检索效率。而后,用户从粗检索集中选择一幅图像并点选感兴趣的地物目标,系统将计算选择目标之间的空间关系,并和粗检索集中的每幅图像进行场景匹配,按相似度排序返回最终精检索结果。

2.2.2 实验分析

实验选择了仅基于图像视觉特征(采用二阶、三阶颜色矩融合 Garbor 纹理特征),和仅基于对象语义特征(包含地物的面积分布情况)的检索方式进行了方法对比。图 7 展示了两个对象时的检索案例;图 8 展示了 3 个对象时的检索案例。

在图 7 所示的检索案例中,选择了“湖泊”+“林地”2 类对象组合。它们组成了左“林地”右“湖泊”的空间格局。可以发现,仅基于视觉特征的查询方法,其查询结果在地物方位关系分布上与查询模板具有较大差异;仅基于对象语义的查询方法虽然包含了要查询的地物类别,但其结果在地物的空间布局上与查询模板相差亦较大。而本文方法在地物类型分布和格局上与查询场景高度相似,精确度最高。

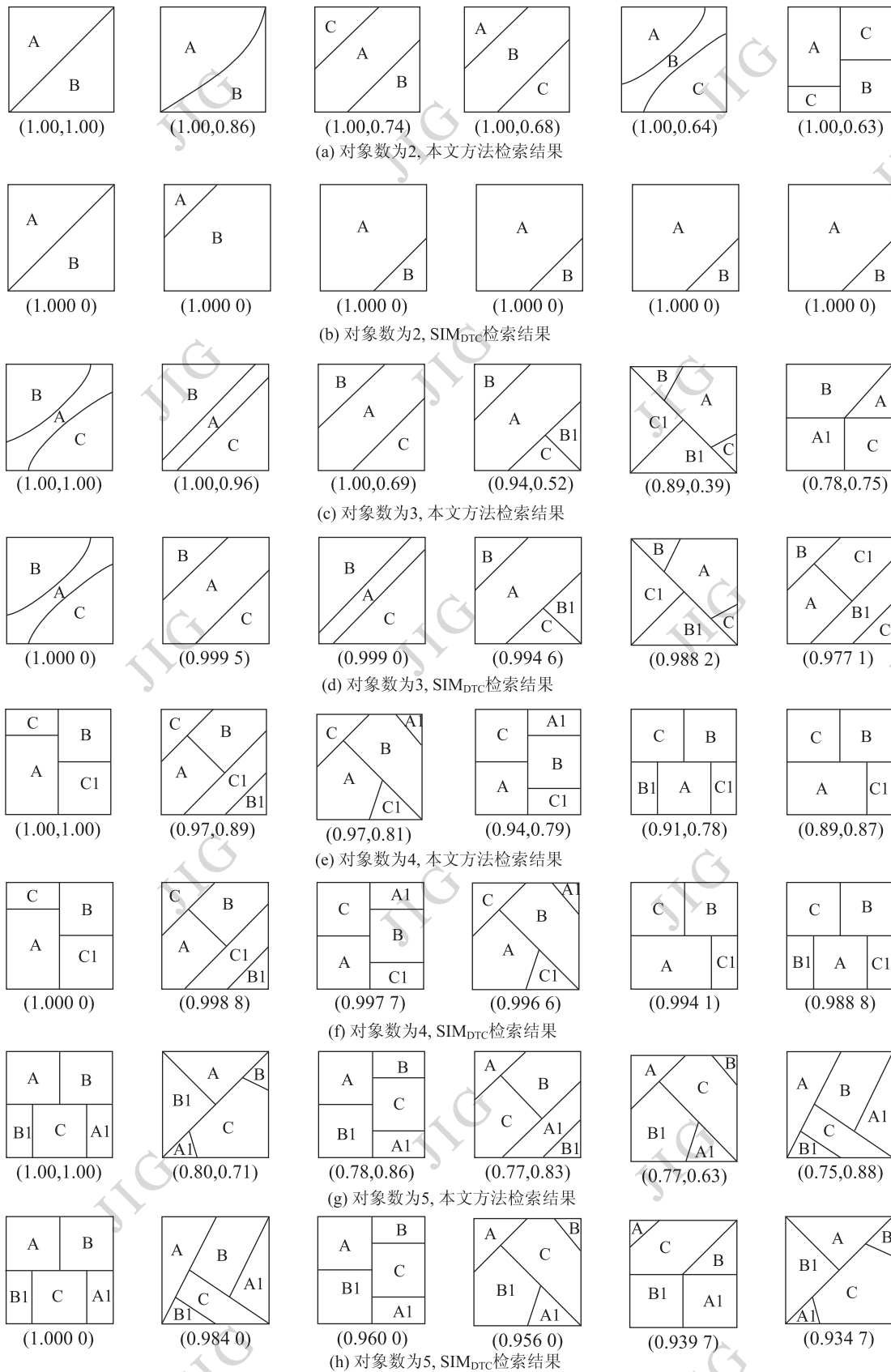


图 5 模拟场景检索

Fig. 5 Simulative scene retrieval

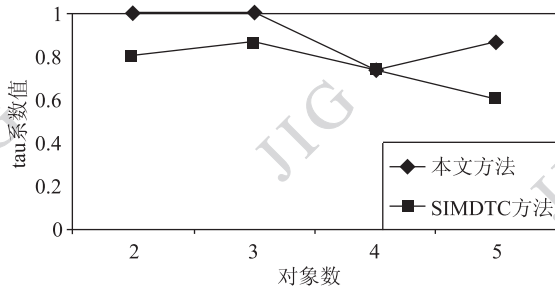


图6 tau系数
Fig. 6 Tau coefficient

在图8所示的检索案例中,选择了“林地”+“建设用地”+“河流”3类对象,它们组成了左上部“林地”,中间“河流”与右侧“建设用地”的基本格局。可以发现,基于视觉特征查询的第2、4、6幅的“林地”、“河流”和“建设用地”的空间格局与查询场景差异较大。基于对象语义特征方法的第2、5幅地物的空间格局均与查询模板相差较大。本文方法的查询结果与查询模板仍然是最为接近的。

通过以上案例分析可以发现,与基于视觉特征或对象特征的方法相比,本文方法在返回具有相似空间格局的地理场景这一任务上性能具有明显优势。此外,可以发现,由于采用了当空间关系相似度相同时,采用对象语义相似度进行二次排序的检索策略,本方法对返回图像的排序更为合理、精确。

对几种方法的执行效率进行测试。实验环境参数为处理器为 Intel® Core™ 2 Quad CPU Q8200,频率为 2.33 GHz,内存大小 2 G,操作系统为 Windows XP,数据库系统采用 Microsoft SQL Server 2005。由于本文方法在匹配过程涉及配对对象子集的实时搜索与考虑多要素的相似性计算,运算量较大,因此最为耗时。一次精检索平均需要大约 1 min 左右的反馈时间。而两种对比方法由于粗检索时已将各自特征直方图存于内存中,检索时计算量很小,因而效率较高,一次精检索平均耗时约 5 s。

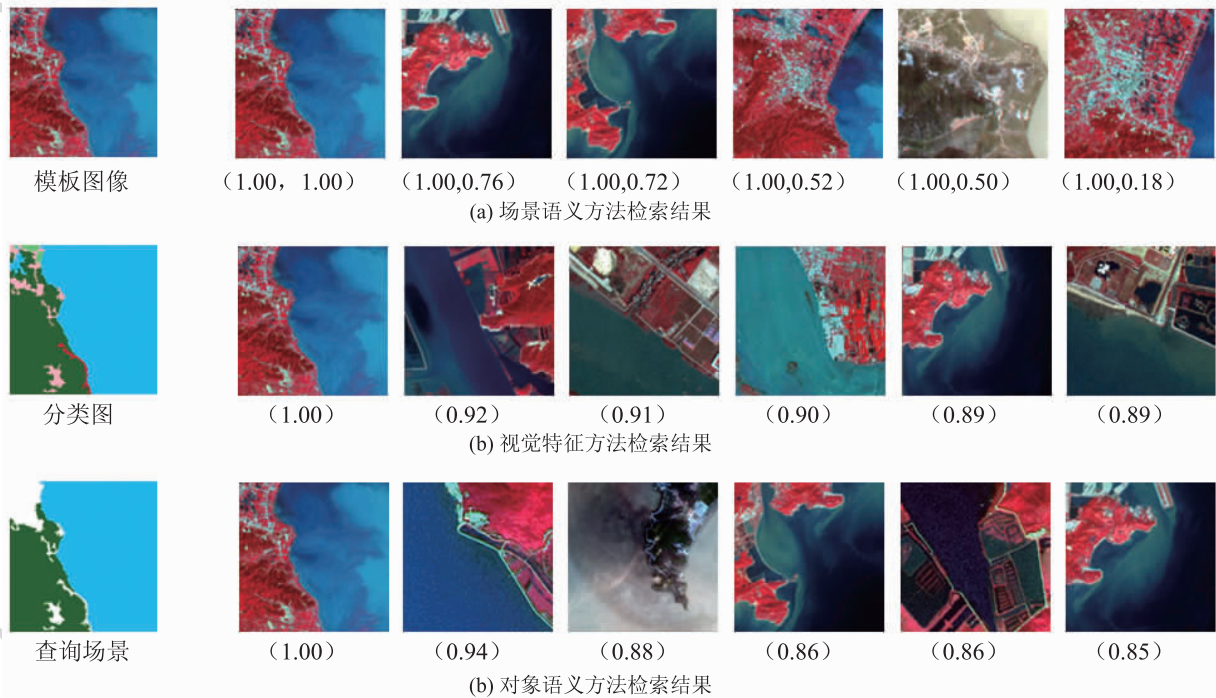


图7 遥感图像检索案例1

Fig. 7 Retrieval case one on remote sensing images

3 结论

提出一种对对象的语义、面积,以及相互间空间关系进行综合建模,并进行场景匹配的新方法。方法给出了场景匹配的定量化、且较为客观的评判标

准,在空间场景匹配上具有较好的应用效果。实验结果表明,本文方法可以获得在空间格局上更为相似的地理场景,检索结果更符合人们的空间认知过程。在地学实际应用中,对象数往往较多,因此方法对场景进行了适当简化,只考虑主要图斑的相互关系而忽略面积较小的次要图斑,这也符合人对场景

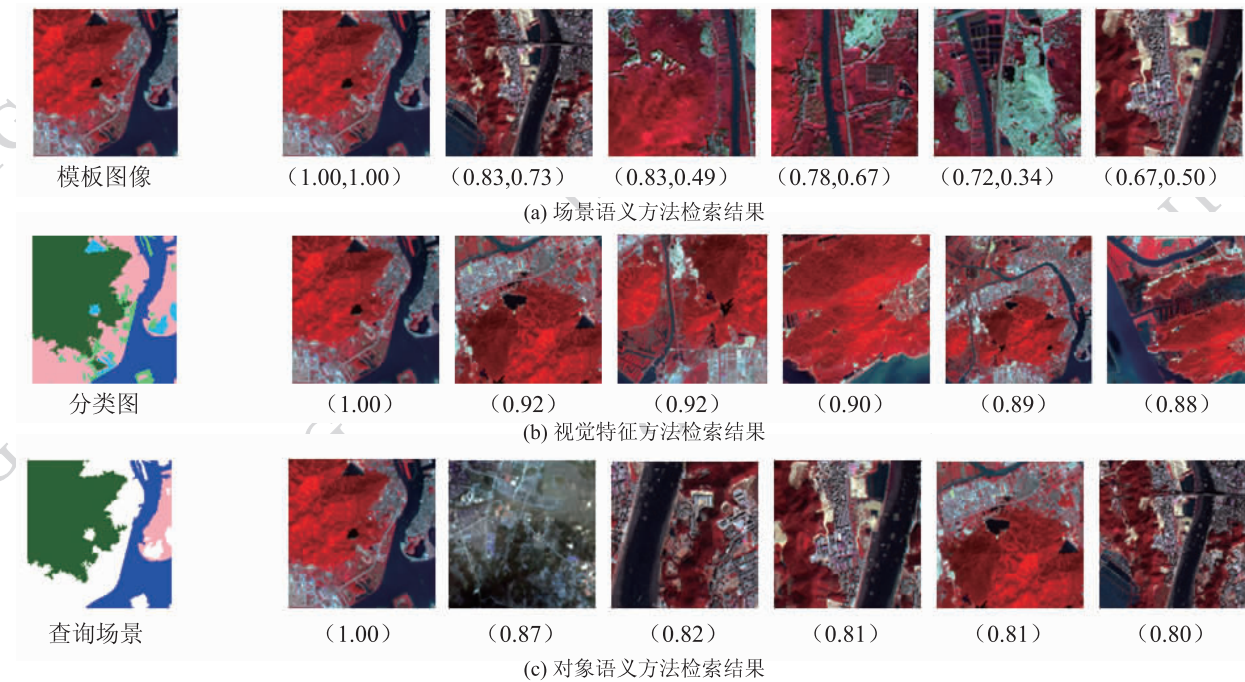


图 8 遥感图像检索案例 2

Fig. 8 Retrieval case two on remote sensing images

相似性判别的实际过程。如需涉及所有对象空间关系的计算,则模型所需的计算量是比较大的,需引入空间索引以进一步提高算法效率。另一方面,在效率改进的基础上,可考虑将对象形状、对象距离等更多特征纳入相似性模型,进一步丰富匹配选择,满足不同应用需求。

参考文献 (References)

- [1] Bruns H T, Egenhofer M J. Similarity of spatial scenes [C]//Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling. London: Taylor & Francis, 1996: 173-184.
- [2] Nedas K A, Egenhofer M J. Spatial-scene similarity queries [J]. Transactions in GIS, 2008, 12(6): 661-681.
- [3] Li B, Fonseca F. TDD: A comprehensive model for qualitative spatial similarity assessment [J]. Spatial Cognition and Computation, 2006, 6(1): 31-62.
- [4] Wu N, Song F M. An image retrieval method based on high-level image semantic information [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(12): 1779-1780. [吴楠, 宋方敏. 一种基于图像高层语义信息的图像检索方法 [J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(12): 1779-1780]
- [5] Egenhofer M J. Point-set topological spatial relations [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1991, 5(2): 161-174.
- [6] Egenhofer M J. On the equivalence of topological relations [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9(2): 133-152.
- [7] Peuquet D J, Zhan C X. An algorithm to determine the directional relationship between arbitrarily-shaped polygons in the plane [J]. Pattern Recognition, 1987, 20(1): 65-74.
- [8] Chang S K, Shi Q Y, Yan C W. Iconic indexing by 2-D strings [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(3): 413-428.
- [9] Frank A U. Qualitative spatial reasoning about distances and directions in geographical space [J]. Journal of Visual Languages and Computing, 1992, 3: 343-371.
- [10] Clementini E, Sharma J, Egenhofer M J. Modeling topological spatial relations: strategies for query processing [J]. Computers and Graphics, 1994, 18(6): 815-822.
- [11] Goyal R K, Egenhofer M J. Similarity of cardinal directions [C]//The 7th International Symposium on Spatial and Temporal Databases (SSTD) Lecture Notes in Computer Science. Heidelberg: Springer-Verlag, 2001: 36-55.
- [12] El-Kwae E A, Kabuka M. A robust framework for content-based retrieval by spatial similarity in image databases [J]. ACM Transactions on Information Systems, 1999, 17(2): 174-198.
- [13] Aksoy S. Modeling of remote sensing image content using attributed relational graphs [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2006, 4109: 475-483.
- [14] Petrakis E. Design and evaluation of spatial similarity approaches for image retrieval [J]. Image and Vision Computing, 2002, 20: 59-76.
- [15] Gudivada V N, Vijay V R. Design and evaluation of algorithms

- for image retrieval by spatial similarity[J]. *ACM Transactions on Information Systems*, 1995, 13(2):115-144.
- [16] Petrakis E G M, Faloutsos A. Similarity searching in medical image databases[J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 1997, 9(3):435-447.
- [17] Payne J S, Hepplewhite L, Stonham T J. Perceptually based metrics for the evaluation of textual image retrieval methods[C]// *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and System*. Florence, Italy: IEEE, 1999:793-797.
- [18] Wei N, Geng G H, Zhou M Q. An overview of performance evaluation in content-based image retrieval[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(11):1271-1276. [韦娜, 耿国华, 周明全. 基于内容的图像检索系统性能评价[J], *中国图象图形学报*, 2004, 9(11):1271-1276]
- [19] Li D R, Ning X G. A new image decomposition method for content-based remote sensing image retrieval[J]. *Transactions on Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(8):659-662. [李德仁, 宁晓刚. 一种新的基于内容的遥感图像检索的图像分块策略[J]. *武汉大学学报:信息科学版*, 2006, 31(8):659-662]
- [20] Chen Y H, Feng T, Shi P J, et al. Classification of remote sensing image based on object oriented and class rules[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(4):316-317. [陈云浩, 冯通, 史培军, 等. 基于面向对象和规则的遥感影像分类研究[J]. *武汉大学学报:信息科学版*, 2006, 31(4):316-317]
- [21] Yu H, Zhang S Q, Kong B, et al. Optimal segmentation scale selection for object-oriented remote sensing image classification[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(2):353-360. [于欢, 张树清, 孔博, 等. 面向对象遥感影像分类的最优分割尺度选择研究[J]. *中国图象图形学报*, 2010, 15(2):353-360]
- [22] Blaschke T, Hay G. Object-oriented image analysis and scale-space: Theory and methods for modeling and evaluating multi-scale landscape structure[J]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2001, 34(4):22-29.
- [23] Benz U, Baatz M, Schreier G. Oscar-object oriented segmentation and classification of advanced radar allow automated information extraction[C]// *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Sydney: IEEE Press, 2001:1913-1915.
- [24] Wang M. A multiresolution remotely sensed image segmentation method combining rainfalloing watershed algorithm and fast region merging[C]// *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing: ISPRS, 2008:1213-1218.
- [25] Cristianini N, Shawe-Taylor J. *An Introduction to Support Vector Machines* [M]. London, UK.: Cambridge Univ. Press, 2000:93-122.