

# 一种 QaR 树的图像粒优化分解方法

邵振峰<sup>1</sup> 周熙然<sup>2</sup> 刘 军<sup>3</sup>

(1 华中科技大学电子与信息工程系光电国家实验室,武汉市珞喻路 1037 号,430074)

(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(3 中国科学院重庆绿色智能技术研究院,重庆市金渝大道 85 号,401122)

**摘 要:**首先提出图像粒的概念,然后将所提出的概念应用于 QaR 树进行图像分解,最后对基于 QaR 树分解的结果和其他算法进行评估和对比。实验结果表明,在冗余度和精度两个指标上,基于 QaR 树的图像粒分解结果均优于已有方法,能够提供更为贴近图像数据和图像空间的图像局部区域。

**关键词:**图像粒;图像分解;QaR 树;Quad 树; $R^*$ -树

**中图法分类号:**P237

对图像直接进行简单等格划分的方法仅面向图像空间,难以满足图像数据的要求;而基于直方图的图像分解的方法则仅面向图像数据,难以满足图像空间的要求。李德仁等<sup>[1]</sup>提出面向影像检索的分块策略,Song<sup>[2]</sup>等基于图像块提出图像的优化分割算法,Spiliotis 等<sup>[3]</sup>利用图像分块来实现灰度图像的动态实时计算。以上方法均能够有效地支持对于图像数据或图像空间的研究,但仍未开展同时对图像空间和图像数据的处理的相关研究。本文首先提出图像粒的新概念,然后基于 Quad 树的图像分解与  $R^*$ -树的图像分解方法,提出基于 QaR 树(quad and R-tree)的图像粒分解和应用。

## 1 图像粒概念的提出

参考天体物理学中粒子(particle)的定义<sup>[4]</sup>,提出图像粒(image particle)的概念。图像粒是指基于图像空间和图像数据特征的图像单元。特别地,图像空间指图像所反映的空间范围,图像数据指图像所具有的内容特征,如图 1 所示。

图 1 所示的遥感影像中,影像中包含 4 个图像粒。在影像空间方面,这 4 个图像粒分别从属于影像全局空间的一部分,且它们的集合为整个影像所包含的影像空间;而影像对象(房屋)的空

间集合无法覆盖整个影像空间;同时,影像的两个空间(居民区)可视为同一类别的独立影像粒度,在空间分布中表现为粒度分割的状态;而影像中的房屋对象则不可表现为分割的对象,同时也难以视为独立的影像粒度。在影像数据方面,影像数据所代表的语义分别为居民区、绿地和博物馆,其所构成的语义集合为整个影像的全局语义,在本体中具有“ $\{居民区\} \cap \{绿地\} \cap \{博物馆\}$  instance-of{某区域}”的关系。

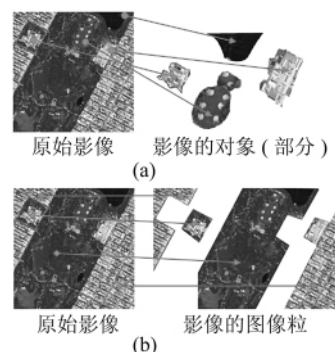


图 1 图像对象和图像粒

Fig. 1 Image Object and Image Article

## 2 QaR 树的图像粒优化分解

### 2.1 QaR 树分解算法

目前,对图像分解的深入研究包括两大类

收稿日期:2012-12-08。

项目来源:国家 973 计划资助项目(2010CB731801);国家自然科学基金资助项目(61172174, N010978003);国家科技专项资助项目(2012YQ16018505, 2013BAH42F03)。

别<sup>[5-6]</sup>。第一类主要基于层次性结构,利用图像空间分割的方法将原始数据空间基于预定义的平面进行划分,而不关注数据的空间分布特征,分解后的子块之间相互离散,但所有子块的集合包括了整个原始的数据空间<sup>[7-8]</sup>。而另一类主要基于 Bounding Volume Hierarchy(BVH),其思想是通过图像数据分割(而非图像空间分割)的方法,基于原始数据的分布特征将数据空间分为不同的最小约束体,并将最小约束体用子块进行聚类<sup>[9]</sup>。基于层次结构的图像分解能够适应子块内部的对象变化,冗余度较小,但对图像内容的表现具有局限性,适合图像空间的分解;而基于 BVH 的图像分解对子块内对象的变化较为敏感,分解后的冗余度高,但分解后的结果能够很好地拟合图像的内容,适合于图像数据的分解。本文提出 QaR 树来进行图像粒的分解。首先基于图像空间采用  $R^*$ -树的模型<sup>[10]</sup>对图像进行分解,该模型采用一个多维的最小约束矩形同时对两个空间数据集进行操作,充分利用不同数据集之间的空间位置。然后基于图像数据通过 Quad 树<sup>[11-12]</sup>对图像进行分解,所采用的是一个包含非叶节点和叶节点两种类型节点的层次性数据结构类,采用非指针的四叉树对树形结构中的每一个节点给予一个唯一的编码。最后基于分解的融合算法对两个分解后的结果进行融合,融合后的结果进行优化分解评估以获得适于动态变化、冗余度低且精度高的图像粒。

图像粒的分解计算分为三个步骤:①计算基于 Quad 树的分解结果和基于  $R^*$ -树的分解结果的差值:

$$I = R_{\varphi}(f) - Q_{\varphi}(f) \quad (1)$$

式中,  $I$  表示基于 Quad 树的分解结果和基于  $R^*$ -树的分解结果的差值图像区域。②对图像差值  $I$  中的每一个像素,同基于  $R^*$ -树分解所得图像的最大值和最小值进行差值计算,如果和最大值或者最小值的差值中任意一个小于两者之间的 Kullback-Leibler 距离,则该像素归为图像粒的一部分, Kullback-Leibler 距离表示为:

$$KL = \frac{(\max(Q_{\varphi}(f)) - \min(Q_{\varphi}(f)))^2}{\max(Q_{\varphi}(f)) + \min(Q_{\varphi}(f))} \quad (2)$$

③将归为图像粒的结果同基于 Quad 树的分解结果进行合并。

## 2.2 优化分解评估

提出一个优化分解策略的来对图像分解后的结果进行综合性评估。评估的标准是既能保

持高精度,又能达到较低的冗余度,内容包括分解后的冗余度和精度两个部分。

冗余度采用叠盖率、冗余率和重复率三个指标进行评价:

1) 覆盖率:是指把分解后的所有图像区域相累加后的像素(像素不重复计算)同实际目标图像区域所包含像素的比值。

$$CV = IA/F, CV < 1 \quad (3)$$

式中,  $CV$  表示覆盖率;  $IA$  表示分解后的图像区域;  $F$  表示实际图像区域。  $CV > 1$  时为冗余度评价中的覆盖率;  $CV = 1$  时,则表示完全覆盖;  $CV < 1$  时,为属于精度评价的误差系数  $EV$ 。

2) 重叠率:是指把所有分解后图像区域的像素数目相加(像素可重复计算),同图像像素的实际数目的比值。

$$OD = \sum_{k=1}^n IA_k / I \quad (4)$$

式中,  $OD$  表示重叠率;  $I$  表示图像像素的实际数目;  $n$  表示分解后的图像粒的数量;  $IA_k$  表示分解后的图像粒。

3) 重复率:指被两个及两个以上的图像粒所包含的像素的数目同图像像素的实际数目的比值。

$$\omega = \sum_{k=1}^n IAP_k \times m, RP = \omega / I \quad (5)$$

式中,  $RP$  表示重复率,  $IAP$  表示重复的像素;  $n$  表示重复的像素的数目;  $m$  表示重复的像素被图像粒所覆盖的次数;  $I$  表示图像像素的实际数目。

精度采用未覆盖率、均值方差比和平均均值方差比三个指标进行评价。

1) 误差系数:指分解后的图像粒同理想图像粒区域的比值。

$$EV = IA/F, EV > 1 \quad (6)$$

式中,  $EV$  表示误差系数;  $IA$  表示分解后的图像粒;  $F$  表示理想图像粒区域。

2) 均值方差比:指每个图像粒的均值和方差同图像整体的均值和方差的比值。

$$MR = \sum_{k=1}^n IAM_k / M, VR = \sum_{k=1}^n IAV_k / V \quad (7)$$

式中,  $MR$  表示均值比;  $VR$  表示方差比;  $IAM_k$  和  $IAV_k$  分别表示每一个图像粒的均值和方差;  $n$  表示图像粒的个数;  $M$  和  $V$  分别表示图像整体的均值和方差。

3) 平均均值方差比:指所有图像粒的均值和方差的平均值同图像整体的均值和方差的比值,

$$\begin{cases} AMR = \mu_m/M, \mu_m = \sum_{k=1}^n IAM_k/n \\ AVR = \mu_v/V, \mu_v = \sum_{k=1}^n IAV_k/n \end{cases} \quad (8)$$

式中,  $AMR$  表示平均均值比;  $AVR$  表示平均方差比;  $IAM_k$  和  $IAV_k$  分别表示每一个图像粒的均值和方差;  $\mu_m$  和  $\mu_v$  分别表示所有图像粒的平均均值和平均方差;  $n$  表示图像粒的个数;  $M$  和  $V$  分别表示图像整体的均值和方差。

### 3 实验与分析

本文选取多波段遥感影像 (Geoeye, 2010) 作为实验数据。图 2 中的实验目标包括基于 Quad 树分解、基于  $R^*$ -树分解和基于 QaR 树分解计算特定图像粒 (湖泊) 提取的结果。图 2 中, 面向于图像数据和图像空间, 理论的图像粒可以分为湖泊和陆地两个部分, 通过对三种方法的比较可以发现, 基于  $R^*$ -树的分解结果基本覆盖了影像中湖泊的区域, 但仍然较为粗糙, 精度较低; 基于 Quad 的图像的分解结果较为精细, 但分解后的图像局部区域和理论中的图像粒差距较大; 基于 QaR 树的分解的图像粒和理论中的图像粒相似, 且比  $R^*$ -树的分解结果精度要高。

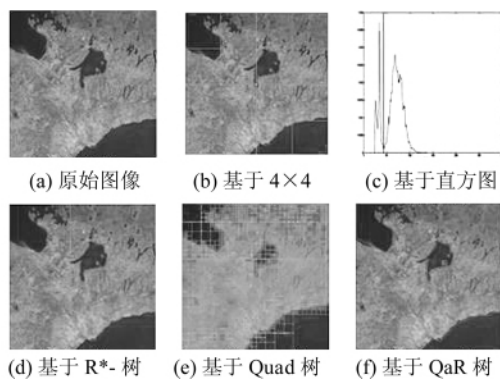


图 2 示例影像结果

Fig. 2 Results of Sample Remote Sensing Image

基于  $4 \times 4$  分解得到的 16 个区域中, 覆盖率最小值为 0, 最大值为 0.3417; 重叠率均为 1, 重复率均为 0, 均值比最小值为 0.6647, 最大值为 0.9323, 平均均值比为 0.7580, 方差比最小值为 0.7886, 最大值为 0.9731, 平均方差比为 0.8606。其他实验结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 尽管  $4 \times 4$  分解和直方图分解的冗余率均为 1、重复率为 0, 即冗余度的评价最高, 但其他指标均远远低于另外三种方法, 分解后的图像局部区域几乎无法表示图像数据 (直方

表 1 多光谱影像的图像分解实验

Tab. 1 Image Decomposing for Multi Waveband Remote Sensing Image

	直方图	$R^*$ -树	Quad 树	QaR 树
覆盖率	0.847 1	0.872 6	-	0.941 7
重叠率	1	1.142 7	2.852 4	1.126 2
重复率	0	0.025 1	1.116 3	0.002 7
误差系数	-	-	1.412 0	-
均值比	0.870 2	0.886 1	0.772 5	0.903 6
方差比	0.968 4	0.714 4	0.615 5	0.580 7

图解) 和图像空间 ( $4 \times 4$  分解) 的特征, 实际应用中削弱了解析后对图像进行各种分析 (如检索范围、特征提取、语义构建等) 的效果。另外, 本文提出的 QaR 树对 Quad 树和  $R^*$ -树进行融合, 在保持各自优点的基础上, 避免了各自存在的局限。因此, 本文方法的各个指标都优于基于 QaR 树和  $R^*$ -树的分解方法, 所提取的图像粒在图像空间和图像数据上具有明显的优势。

### 4 结 语

本文基于建立包含图像空间和图像内容的粒度思想, 提出了图像粒的概念, 并通过 QaR 树的方法进行优化图像粒分解。实验结果显示, 基于 QaR 树的图像粒分解在覆盖率、重叠率、重复率、误差率和均值方差比等多个方面具有优势, 能有效地保持图像数据和图像空间的特征; 同时, 在冗余度和精度的综合评价中均优于基于其他算法结构的分解结果, 可为图像分块、图像分割、图像检索、图像重构和图像语义提取等相关的应用提供支持。下一步的工作包括基于 QaR 树的图像压缩、图像重构和基于图像粒的图像语义粒度构建。

### 参 考 文 献

- [1] 李德仁, 宁晓刚. 一种新的基于内容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, 674
- [2] Song H Y, Li X F, Wang P J, et al. Block-based Normalized-cut Algorithm for Image Segmentation [J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2010, 56: 272-278
- [3] Spiliotis I M, Boutalis Y S. Parameterized Real-time Moment Computation on Gray Images Using Block Techniques[J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2011, 6(2): 81-91
- [4] Copeland J E, Sami M, Tsujikawa S. Dynamics of Dark Energy[J]. International Journal of Modern Physics D, 2006, 15(11): 1 753-1 935

- [5] Pina J L, Seron F, Cerezo E. BqR-Tree: A Data Structure for Flights and Walkthroughs in Urban Scenes with Mobile Elements[J]. Computer Graphics Forum, 2012, 29(6): 1 745-1 755
- [6] Xiao C H X, Nie Y W, Tang F. Efficient Edit Propagation Using Hierarchical Data Structure[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2011, 17(8): 1 135-1 147
- [7] Cedric M, Witold L, Philippe R. Large-scale Indexing of Spatial Data in Distributed Repositories: the SD-Rtree[J]. The VLDB Journal, 2009, 18(4): 933-958
- [8] 罗广祥, 刘苗, 樊鸿宇, 等. 全球等面积四叉树离散格网建模与编码体系研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(10): 1 252-1 255
- [9] 龚俊, 谢潇. 基于 R 树索引的三维可视化查询方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(10): 1 140-1 143
- [10] Manolopoulos Y, Nanopoulos A, Papadopoulos N A, et al. R-Trees: Theory and Applications[M]. New York: Springer, 2012
- [11] Buccafurri F, Furfaro F, Mazzeo G M, et al. A Quad-tree Based Multi-resolution Approach for Two-dimensional Summary Data[J]. Information Systems, 2011, 36(7-SI): 1 082-1 103
- [12] Yin X, Duntsch I, Gediga G. Quadtree Representation and Compression of Spatial Data[J]. Transactions on Rough Sets XIII, 2011, 6 499; 207-239

第一作者简介:邵振峰,教授,博士,博士后,博士生导师,研究方向为高分辨率影像处理、空间信息智能服务与对地观测传感网。  
E-mail:shaozhenfeng@163.com

## QaR Tree Method for Optimal Image Particle Decomposing

SHAO Zhenfeng<sup>1</sup> ZHOU Xiran<sup>2</sup> LIU Jun<sup>3</sup>

(1 Department of Electronics and Information Engineering, National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, 1037 Luoyu Road, Wuhan 430074, China)

(2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, 85 Jinyu Avenue, Chongqing 401122, China)

**Abstract:** The novel definition of image particle is proposed firstly. Then procedure of image particle decomposing is accomplished via QaR tree. Finally, the optimal comparative evaluation from QaR tree to other classic algorithms is given. Experimental results reveal that on the basis of accuracy and redundancy, QaR tree method holds better effects than other existing methods, and its results are closer to local image regions consisting of image space and image data.

**Key words:** image particle; image decomposing; QaR tree; Quad tree;  $R^*$ -tree

**About the first author:** SHAO Zhenfeng, professor, Ph. D. postdoctoral fellow, Ph. D supervisor, majors in high-resolution remote sensing image processing, spatial information intelligent service and earth observation sensor network.

E-mail: shaozhenfeng@163.com