

doi: 10.6046/gtzyyg.2018.02.05
引用格式: 胡屹群,周绍光,岳顺,等. 利用局部稀疏不变特征的遥感影像检索[J]. 国土资源遥感,2018,30(2):38-44. (Hu Y Q,Zhou S G,Yue S,et al. Remote sensing image retrieval based on sparse local invariant features[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2018,30(2):38-44.)

利用局部稀疏不变特征的遥感影像检索

胡屹群, 周绍光, 岳 顺, 刘晓晴
(河海大学地球科学与工程学院, 南京 211100)

摘要: 为了增强遥感影像局部特征的表征能力并充分利用过完备字典的稀疏分解,提出了基于稀疏表示特征构建视觉词典的遥感影像检索新方法。首先,提取遥感训练影像库的局部不变特征,对大量的局部特征训练过完备字典并将在该字典更新下获取的稀疏表示作为图像的特征描述;然后,对稀疏表示特征构建视觉词典,并进行空间金字塔匹配,获取稀疏直方图特征;最后,使用稀疏特征训练 SVM 分类模型,通过分类模型输出与查询影像属于一个类别的影像,在该类别的影像集中进行相似度匹配,返回与查询影像最为相似的图像,实现检索。实验结果表明,新方法提取的特征不仅具备局部不变特征的鲁棒性,还提供了必要的语义信息,在影像检索领域具有较强的实用性和适用性。

关键词: 局部不变特征; 过完备字典; 稀疏表示; SVM 分类模型; 影像检索

中图法分类号: P 237 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2018)02-0038-07

0 引言

随着遥感数据量呈几何级数的增长,如何从大容量的遥感影像库快速浏览和高效检索出感兴趣的目标或者影像成为了人们关注的焦点,也是目前遥感界迫切需要解决的问题之一。对于遥感影像数据库来说,一般的文字搜索模式的作用微乎其微。为了实现遥感数据库的更精确、更高效的检索,近年来,基于内容的图像检索(content-based image retrieval, CBIR)技术在遥感图像检索中得到了广泛的应用^[1-2]。与传统影像处理过程相似,特征提取是完成检索的核心内容,特征一般可分为低层视觉特征和高级语义特征。传统的检索方法主要是根据影像的低层视觉特征(如纹理、颜色和形状等)来进行检索^[3],但是对于场景复杂、目标繁多的遥感影像来说,这些方法存在一定的局限性。局部不变特征(scale invariant feature transform, SIFT)^[4-5]因具有较强的鲁棒性以及针对不同场景和目标的独立性,在遥感影像检索中也得到了一定的应用^[6]。由于 SIFT 特征提供的语义信息不充足,Yang 等^[7]提出了利用视觉词袋(bag of visual words, BOVW)^[8]模型

组合局部不变特征,通过构建视觉词典及空间金字塔匹配(spatial pyramid matching, SPM)^[9]建立图像表示模型。进行遥感数据检索时,将影像的 SIFT 特征与 BOVW 模型结合在一起能够实现更好的影像检索功能^[10],因而在影像分类和影像检索等遥感领域有广泛的应用。

然而,近 10 a 基于内容的遥感影像检索对影像提供的语义信息要求越来越高,传统的特征提取的方式不可能完全表达出影像的语义内容,因此,如何把影像的语义信息和机器提取的低层视觉特征联系在一起已经成为遥感领域基于内容检索的一大难题。与此同时,稀疏表示模型的研究^[11]给遥感图像处理 and 计算机视觉等领域带来了深刻影响。基于过完备词典的稀疏表示是一种图像描述模型,利用词典中少量原子的线性组合来表示或者近似表示原始图像,实际上这些少量的原子已经捕获了图像的主要结构与本质属性。图像的稀疏表示模型不仅能获取图像有效的稀疏表达,还能揭示图像的语义信息。Mohamadzadeh 等^[12]提出使用稀疏表示进行图像检索的方法,该方法主要利用形状和纹理组合特征的稀疏表示进行图像检索,并认为稀疏表示特征可以减少检索时间和数据内存,简化搜索过程并尽可能

收稿日期: 2016-10-31; 修订日期: 2017-02-14
基金项目: 国家自然科学基金项目“高分辨率遥感影像中城市道路网的提取方法研究”(编号: 41271420/D010702)资助。
第一作者: 胡屹群(1990-),女,硕士研究生,主要研究方向为摄影测量与遥感。Email: 1174679344@qq.com。
通信作者: 周绍光(1966-),男,副教授,主要从事遥感图像处理、道路网提取研究。Email: zhousg1966@126.com。

找到需要的图像。但是相比 SIFT 特征的稀疏表示,上述 2 种组合的稀疏表示花费时间更多,过程更为复杂,这将会影响图像的检索效率。

本文提出的遥感影像检索新方法是基于图像 SIFT 特征的稀疏表示方式构建视觉 BOVW,实现影像信号的有效描述,能够有效提高检索精度和效率,并且提取的稀疏表示特征在影像检索领域具有很强的适用性。

1 影像检索原理

本文提出的基于局部稀疏不变特征的遥感影像检索系统框架如图 1 所示。该系统的流程主要包括 3 个阶段:建立稀疏表示特征数据库阶段、支持向量机(support vector machine,SVM)分类模型学习阶段和查询影像检索阶段。建立稀疏表示特征数据库阶段主要是对遥感影像数据库里每张影像提取的大量 SIFT 特征进行稀疏分解,获取的稀疏表示直接作为提取的影像特征,形成较大的特征数据库;SVM 分类模型学习阶段是通过影像库里随机抽选的训练影像和测试影像学习并优化而获取一个最佳的分类模型,为后面的影像检索阶段提供相应指导;查询影像检索阶段首先对训练好的 SVM 分类模型输入该影像的局部稀疏不变特征,接着 SVM 分类模型会判定查询影像所属的语义类别,最后查询影像在分类器输出的类别范围内进行相似度匹配,按照距离排名和评价,完成影像检索。

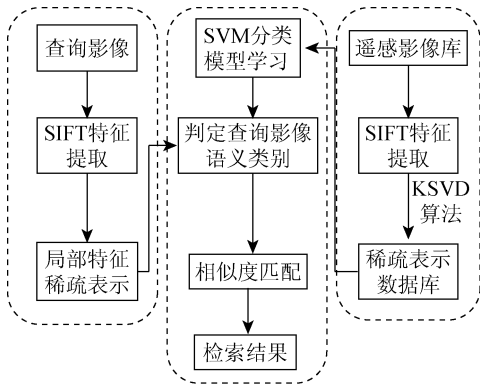


图 1 基于局部稀疏不变特征的遥感影像检索系统
Fig.1 Remote sensing image retrieval system based on sparse local invariant features

1.1 稀疏表示

近年来,稀疏表示已经成为了遥感图像处理的

热门问题之一^[13-14]。本文中,所有的数据都属于实数域。

假设输入信号 $\mathbf{b} \in \mathbf{R}^m$,信号分解是指 n 个基本原子 $\mathbf{a}_i \in \mathbf{R}^m$ 的线性组合, $(1 \leq i \leq n)$,构建信号的表达式为

$$\mathbf{b} = \mathbf{a}_1x_1 + \mathbf{a}_2x_2 + \cdots + \mathbf{a}_nx_n = \mathbf{A}\mathbf{x}, \quad (1)$$

式中: $\mathbf{A} = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \cdots, \mathbf{a}_n] \in \mathbf{R}^{m \times n}$, 为过完备字典; $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \cdots, x_n)^T \in \mathbf{R}^n$, 为稀疏系数。通过式(2)的 l_1 范数最小化求解就可以得到式(1)的最优稀疏表示为

$$\mathbf{x} = \operatorname{argmin} \left(\frac{1}{2} \|\mathbf{b} - \mathbf{A}\mathbf{x}\|_2^2 + \lambda \|\mathbf{x}\|_1 \right), \quad (2)$$

式中: λ 为正则化参数; $\|\cdot\|_2$ 为 l_2 范数; $\|\cdot\|_1$ 为 l_1 范数。

1.2 基于稀疏表示的遥感影像 SIFT 特征提取

与普通图像一样,遥感影像像素间存在相关统计性,所以一般情况下遥感影像也会含有大量的冗余信息。如何在提取 SIFT 特征的同时去除或者减少这些冗余特征的信息,采用何种方式对影像进行有效描述,是基于稀疏表示的遥感影像 SIFT 特征提取的研究初衷。首先,采用 Lowe^[5]的方法提取每幅影像的 SIFT 特征,即用均匀网格划分影像,确定图块(patch)大小,计算特征向量(dense sift);然后,以每幅影像的特征向量数据为原始信号,采用 KSVD 算法^[15]训练过完备字典,OMP(orthogonal matching pursuit)算法进行稀疏编码^[16],即影像 SIFT 特征集的稀疏表示。

1.2.1 KSVD 算法

因为 KSVD 算法构建的过完备字典是来自于训练数据本身,所以这些训练数据能够充分被表示。该算法是一种基于矩阵奇异值分解的泛化 K 均值聚类算法。

设有训练 SIFT 特征集 $\mathbf{Y} = \{\mathbf{y}_i\}_{i=1}^M (\mathbf{Y} \in \mathbf{R}^{N \times M})$, 其中每个特征都是一个 N 维向量,该算法的目的就是通过训练数据集获取最佳过完备字典 $\mathbf{D} = \{\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \cdots, \mathbf{d}_k\} (\mathbf{D} \in \mathbf{R}^{N \times K}, N \ll K)$ 来表示 $\mathbf{Y}$,其中 $(\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \cdots, \mathbf{d}_K)$ 表示词典里的 K 个单词。

影像训练特征的稀疏表示为

$$\|\mathbf{Y} - \mathbf{D}\mathbf{X}\|_2^2 = \|\mathbf{Y} - \sum_{j=1}^K \mathbf{d}_j \mathbf{x}_j^T\|_2^2 = \|\mathbf{Y} - \sum_{j \neq k} \mathbf{d}_j \mathbf{x}_j^T - \mathbf{d}_k \mathbf{x}_k^T\|_2^2 = \|\mathbf{E}_k - \mathbf{d}_k \mathbf{x}_k^T\|_2^2, \quad (3)$$

式中 $\mathbf{x}_k^T$ 是稀疏系数矩阵 $\mathbf{X}$ 的第 k 行,通过更新 $\mathbf{d}_k$ 和

$\mathbf{x}_k^T$ 缩小与 $\mathbf{E}_k$ 的误差,就可以获得上式的最小值。

1.2.2 OMP 算法

利用 OMP 算法实现 SIFT 特征的基于过完备字典的稀疏分解,该算法属于贪婪追踪算法,其主要思想是寻找使得影像在过完备字典上具有最大投影的少数单词,不断逼近原始影像。OMP 算法在分解中选择最佳的匹配单词,使用 Gram - Schmidt 正交化方法进行正交化处理,接着将影像在这些正交原子构建的空间上投影,在稀疏分解的过程中,OMP 算法不仅精度要求高,而且收敛速度快,计算时间少。利用 OMP 算法,影像的局部特征集 y 经过 N 次分解得到,即

$$y = \sum_{K=0}^{N-1} a_K x_K + R^N y, \text{ 且 } \langle R^N y, x_K \rangle = 0, K = 0, \dots, N-1, \tag{4}$$

式中: x_K 为第 K 次分解得到的分量; a_K 为第 K 次分解得到的分量系数。

2 基于局部稀疏不变特征检索流程

2.1 特征提取

2.1.1 SIFT 特征

数据库中遥感影像大小为 $M \times N$ 像素,以 $a \times a$ 网格大小无重叠地划分影像,一幅影像有 $(M/a) \times (N/a)$ 个图像块。设图像块大小为 $(2a \times 2a)$,一个图像块计算一个描述子,即一个特征向量。计算时,每个图像块划分为 $(a/2) \times (a/2)$ 个方块 (Bins),每个方块可以提取 8 维的 SIFT 特征,所以每个图像块获取的特征向量的维数为 $(a/2) \times (a/2) \times 8 = 2a^2$ 。每个图斑向左移动一个网格就获得新的图像块。以此类推,移动到影像边缘,然后往下移动。最终一幅遥感影像由 $(M/a - 1) \times (N/a - 1)$ 个 $2a^2$ 维特征向量表示。

2.1.2 SIFT 特征的稀疏表示

设置 Y_i 为第 i 幅影像的特征数据集, $i \in (1, m)$,其中 m 为影像库中影像个数。利用 KSVD 算法获取每类影像的过完备字典 D ,设置 D_k 为第 k 类训练图像的过完备字典, $k \in (1, n)$, n 为影像数据集所有类别数目。在已知影像的特征数据集 Y 和相应类别的过完备字典 D 以及稀疏度 L 的条件下,利用 OMP 算法对影像特征数据进行重构,得到每幅影像在其所属类别的过完备字典下的稀疏系数 X_i , $i \in (1, m)$ 。本文把影像根据过完备字典进行稀疏分解后获得稀疏系数 X_i 直接作为低层特征。

2.2 特征建模

万方数据

在获取影像集所有影像的局部稀疏特征之后,

采用 K - means 聚类法将局部区域或者图斑的特征进行聚类。每个聚类中心看作视觉词典中一个视觉词汇 (visual word),视觉词汇由聚类中心对应特征形成的码字 (code word) 表示,这就是特征量化过程。所有视觉词汇形成的视觉词典 (visual vocabulary) 就对应一本码书 (code book),词典大小由词汇的个数决定每个词汇由一个 $2a^2$ 维特征向量表示。影像中每个特征都被映射到视觉词典中某个词汇上,这种映射通过计算特征的距离去实现。然后通过统计每个视觉单词在一幅影像特征里出现的频数,获取每幅影像的特征袋 (bag of features, BOF)。在每幅影像对应的 BOF 提取完成的基础上,利用空间金字塔匹配模型,获得每一幅影像全局金字塔直方图特征,事实上该特征是稀疏向量。

2.3 分类检索

本文选择采用 SVM 分类模型进行语义检索,尝试在影像低层特征和影像高级语义信息上建立一定的联系。首先,采用 SVM 分类器根据提取的不同类别影像的特征,学习影像的不同类别表示方法,即要表达的不同语义信息,将训练好的分类模型保存起来,对查询影像提取其相应的低层特征;然后,利用训练好的分类模型将提取到的低层特征在影像语义类别上进行判定,将查询影像定位到相应影像类别的范围内;最后,在这个类别范围内进行欧式距离检索。为了避免因图像分类的错误而导致检索结果的差错,对查询图像分类的返回结果取其最相似的前 3 个作为其分类结果,进行图像检索时查询图像只要与数据库中属于前 3 类别的图像进行相似度计算,返回与其最相似的影像。

3 实验结果分析

3.1 实验数据和评估指标

实验选择 Merced Land Use Dataset 公开的高空间分辨率遥感影像库,包含 21 类卫星影像。其中每个类别含有 100 幅影像,从每类随机选择 10 幅影像训练,剩余 90 幅影像用于测试,每幅影像的大小都是 256 像元 $\times$ 256 像元。选用影像库的示例如图 2 所示。另外,在特征建模算法步骤中,本文统一设置视觉词典的词汇 $M = 200$,空间金字塔层数 $L = 3$,因为在参数一致的情况下,提出的检索方法查准率和查全率相对提高,就能有效证明本文方法的优势。

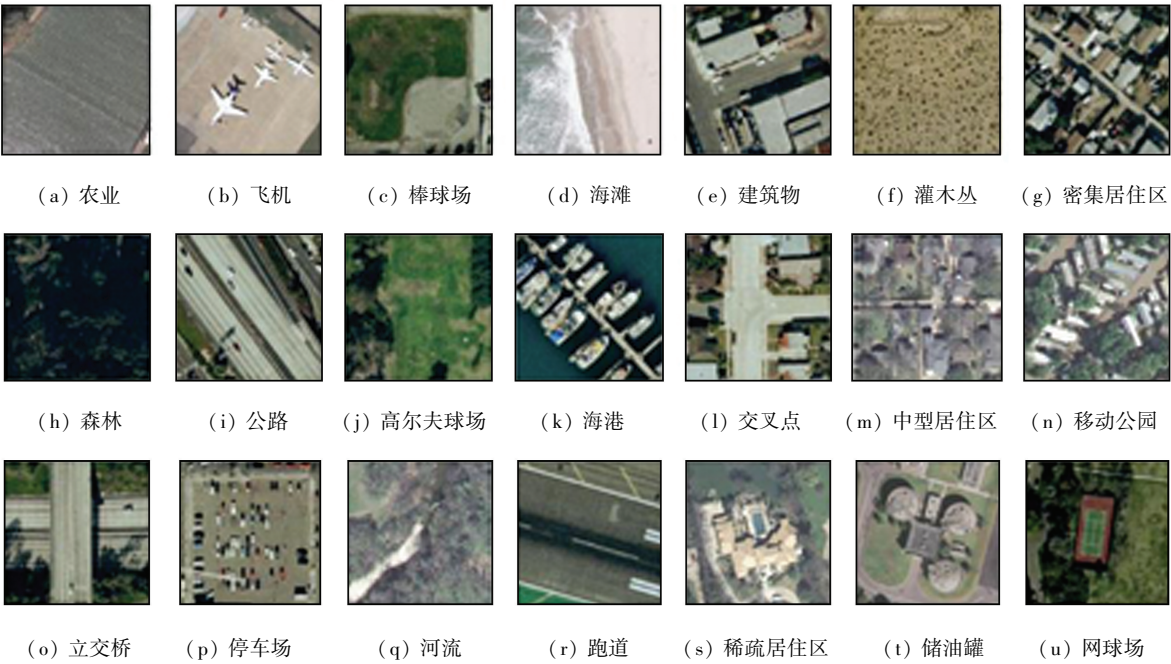


图 2 Merced Land Use Dataset 遥感影像示例

Fig.2 Sample remote sensing images from Merced Land Use Dataset

3.2 分类检索结果与对比分析

图 3 是本文方法检索的可视化效果图,以查询公路为例,从公路影像库任意选择一幅影像,根据相似度匹配值,从大到小排序,返回与查询影像最为相

似的前 20 幅影像,被错误检索的用加粗标注。从图 3 可以发现,只有图 3(q)影像是错误的,该影像应该属于高尔夫球场,其余影像则是检索正确,都属于公路影像。

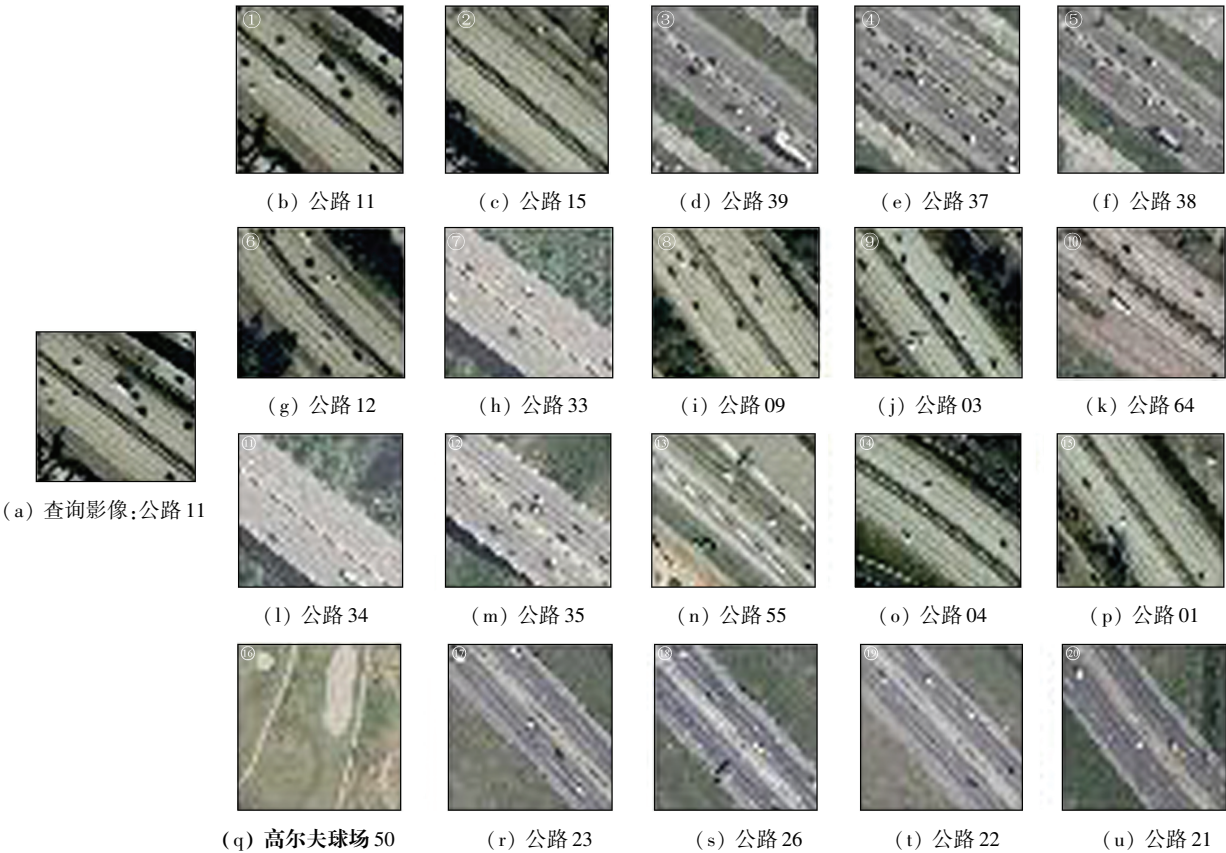


图 3 本文方法的可视化结果

Fig.3 Visualization results of new method in this paper

将本文方法与基于 SIFT 特征传统检索方法和基于纹理稀疏特征检索方法进行对比,其中纹理稀疏不变特征的获取方法是 将每幅图像以 8 像元 × 8 像元大小进行无重叠切块,接着对图像块的纹理特征进行字典训练和稀疏编码,从而获取图像块的纹理稀疏表示特征。3 种方法以分类精度和 Kappa 系数作为 SVM 分类效果评价指标,以查准率和查全率作为检索性能的评价指标。

为了便于分析比较,本文计算了传统的 SIFT、

纹理稀疏不变特征和局部稀疏不变特征 3 种影像检索方法的分类精度和 Kappa 系数(表 1),其 SVM 分类效果对比如图 4 所示。

表 1 3 种方法分类效果对比表

Tab.1 Comparison of three methods' classification result

方法	平均精度	总体精度	Kappa
SIFT	0.623 6	0.592 7	0.579 3
纹理稀疏特征	0.845 5	0.827 0	0.818 3
本文方法	0.880 4	0.866 1	0.859 4

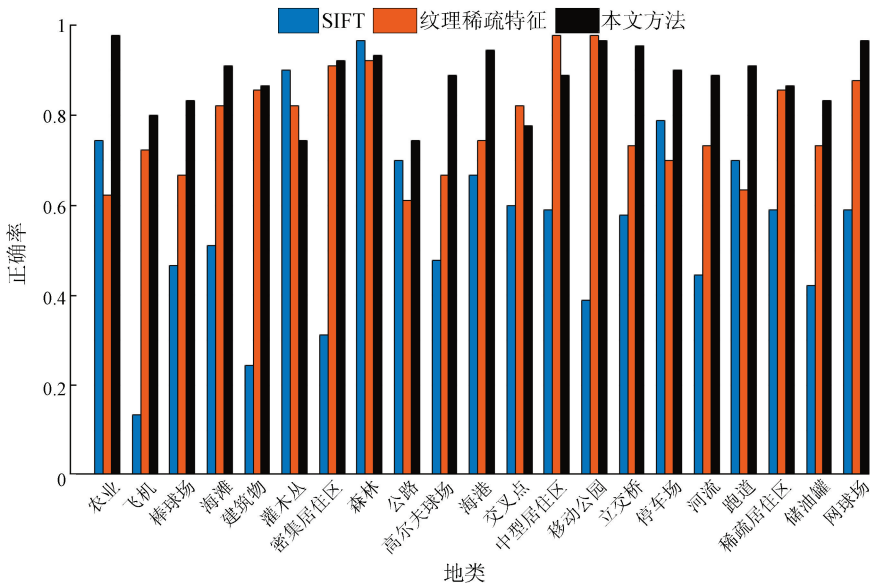


图 4 3 种方法 SVM 分类效果对比

Fig.4 Comparison of three methods for SVM classification model

从表 1 和图 4 可以看出,本文方法在训练测试影像数量为 1:9 的情况下保持了平均 88.01% 的影像分类正确率,有效证明利用局部稀疏不变特征 的分类效果高于前 2 种分类方法。该方法能够使多种类别的影像在大多数情况下得到正确分类,提供较精确的影像语义类别信息,而在正确分类情况下能够获取较高的影像查准率和查全率。因此本文选取了基于 SIFT 的稀疏表示构建 SVM 分类模型,用该模型指导基于内容的影像检索应用。采用图像检索系统中应用最为广泛的性能评价准则查准率、查全率以及相应的查准率 - 查全率曲线(图 5)。

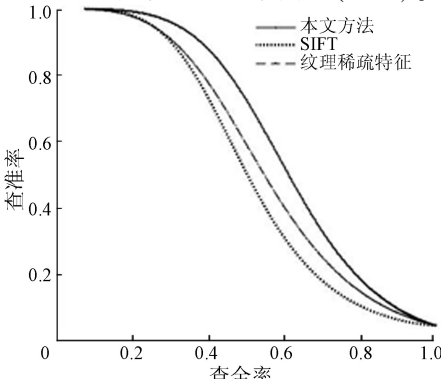


图 5 查准率 - 查全率曲线 (平滑后的曲线)

Fig.5 Precision - Recall curve (smoothed curve)

从图 5 可以看出,查准率和查全率之间存在着相互依赖和相互制约的关系,如果提高查准率,就会降低其查全率,反之亦然。总体而言,该曲线越偏向右上方,表明该方法的检索性能越好。由此可知,本文方法在查准率和查全率上具有优势。

另外考虑检索影像的排序情况,本文还采用了在 MPEG-7 标准化处理中广泛使用的平均归一化修改检索等级 (average normalize modified retrieval rank, ANMRR),ANMRR 的取值范围为 0 ~ 1,取值越小,说明检索效果越好。具体的计算过程见参考文献[12]。

通过计算 ANMRR 值进行评价(表 2),获知被检索出的相关影像的个数和排序情况。

表 2 ANMRR 值对比

Tab.2 Comparison of three methods' ANMRR

类别	SIFT	纹理稀疏特征	本文方法
ANMRR	0.597 7	0.473 2	0.411 3

表 2 中 ANMRR 值的定量比较证明了本文方法的检索性能明显优于前面 2 种遥感影像检索算法。

4 结论

依据稀疏表示模型的实效性和适用性,研究了一种结合局部稀疏不变特征和视觉词袋模型的遥感影像检索新方法,解决了传统局部特征带来的存储困难、计算复杂的问题。首先,以每幅影像大量的局部不变特征作为原始数据,使用 KSV D 算法学习过完备字典,OMP 算法获取稀疏系数矩阵,将获取的稀疏系数矩阵替代原始的密集局部不变特征;接着,利用视觉词袋模型和空间金字塔匹配算法获取新的直方图向量,作为每幅影像最终全局表示;最后,引入最佳 SVM 分类模型,通过输入查询影像的稀疏特征判定其所属类别,在类别范围内进行相似度匹配,完成检索。实验表明,与传统的局部特征检索方法相比,新方法在提高检索准确性的同时,大大减少所需存储局部不变特征的数量,提高了检索的查准率和查全率,为稀疏表示模型在遥感影像检索研究领域开拓了新思路。

参考文献 (References):

[1] Du P J,Chen Y H,Tang H,et al. Study on content - based remote sensing image retrieval[C]//Proceedings of 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Seoul: IEEE, 2005.

[2] 程起敏. 遥感图像检索技术[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2011.

Cheng Q M. Remote Sensing Image Retrieval Technologies[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2011.

[3] Dos Santos J A, Penatti O A B, Torres R D S. Evaluating the Potential of Texture and Color Descriptors for Remote Sensing Image Retrieval and Classification[R]. Technical Report - IC - 09 - 47, 2009.

[4] Nandhini R, Joel T. Geographic image retrieval using local invariant features with euclidean distance [J]. IEEE International Journal for Research and Development in Engineering, 2014. 222 - 225.

[5] Lowe D G. Distinctive image features from scale - invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):

91 - 110.

[6] 吴锐航,李绍滋,邹丰美. 基于 SIFT 特征的图像检索[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(2): 478 - 481.

Wu R H, Li S Z, Zou F M. Image retrieval based on SIFT features [J]. Application Research of Computers, 2008, 25(2): 478 - 481.

[7] Yang Y, Newsam S. Geographic image retrieval using local invariant features [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2013, 51(2): 818 - 832.

[8] Karakasis E G, Amanatiadis A, Gasteratos A, et al. Image moment invariants as local features for content based image retrieval using the bag - of - visual - words model [J]. Pattern Recognition Letters, 2015, 55: 22 - 27.

[9] 周维勋,邵振峰,侯继虎. 利用视觉注意模型和局部特征的遥感影像检索方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(1): 46 - 52.

Zhou W X, Shao Z F, Hou J H. Remote sensing imagery retrieval method based on visual attention model and local features [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015, 40(1): 46 - 52.

[10] Lazebnik S, Schmid C, Ponce J. Beyond bags of features: Spatial pyramid matching for recognizing natural scene categories [C]// Proceedings of 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: IEEE, 2006: 2169 - 2178.

[11] Yang J C, Wright J, Huang T S, et al. Image super - resolution via sparse representation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(11): 2861 - 2873.

[12] Mohamadzadeh S, Farsi H. Content - based image retrieval system via sparse representation [J]. IET Computer Vision, 2016, 10(1): 95 - 102.

[13] Olshusen B A, Field D J. Sparse coding with an overcomplete basis set: A strategy employed by V1? [J]. Vision Research, 1997, 37(23): 3311 - 3325.

[14] Wright J, Ma Y, Mairal J, et al. Sparse representation for computer vision and pattern recognition [J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 98(6): 1031 - 1044.

[15] Aharon M, Elad M, Bruckstein A. K - SVD: An algorithm for designing overcomplete dictionaries for sparse representation [J]. IEEE Transactions on Singal Processing, 2006, 54(11): 4311 - 4322.

[16] 霍 宏. 生物视觉启发的高分辨率遥感影像特征提取与目标检测研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2014.

Huo H. Biological Vision - Inspired Feature Extraction and Object Detection for High Resolution Remote Sensing Images [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2014.

Remote sensing image retrieval based on sparse local invariant features

HU Yiqun, ZHOU Shaoguang, YUE Shun, LIU Xiaoqing

(School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to enhance the capability of local feature representation of remote sensing images and to make full use of sparse decomposition of over - complete dictionary, this paper proposes a new method of remote sensing image retrieval based on sparse representation feature. In this method first the local invariant features are extracted from the training remote sensing image database and trains over - complete dictionary based on local features, and

thus the sparse representation will be obtained under the dictionary update; the authors regard the sparse representation as the image's final feature description. Secondly, the authors construct a visual dictionary using sparse representation features, and obtain the sparse histograms by spatial pyramid matching algorithm. Finally, the SVM classification model is trained based on the sparse features, by using the classification model, the images classified as one category with the query image to be output. The similarity matching is carried out in the output image set, and an image with the largest similarity is returned to achieve the image retrieval. Experimental result shows that the features extracted by the new method not only possess the robustness of local invariant features but also provide the necessary semantic information, which is of great practicality and applicability in image retrieval research field.

Keywords: local invariant features; over-complete dictionary; sparse representation; SVM classification model; image retrieval

(责任编辑: 李 瑜)

下 期 要 目

袁益琴	遥感视频卫星应用展望
范景辉	地面沉降光栅立体图研究制作
翟 俊	青海湖流域景观格局空间粒度效应分析
宋宏利	国家尺度异源土地覆被遥感产品精度评价
杜金龙	基于 GIS 的城市土地利用研究进展
王立娟	基于国产高分卫星数据的矿山环境变化检测
吕 野	利用增量式马尔科夫随机场分割提取高分辨率遥感影像道路
随欣欣	面向遥感业务应用的解译成果数据管理系统研究和构建
林奕桐	基于投影寻踪模型的热红外波段卫星遥感水汽反演算法研究
江振蓝	空间自相关局部指标在城市热岛界定中的应用
武易天	基于 Landsat8 数据的近海养殖区自动提取方法研究
向 杰	无人机遥感技术在北京首云铁矿储量动态监测中的应用
廖 骥	高分一号卫星影像谐波模型模拟方法研究
王学成	基于阈值比值法的森林冰雪冻害遥感评估——以湖南省为例
蒙永辉	1979—2012 年莱州湾南岸海水入侵与区域海岸线变动时空耦合分析
王 群	DEM 辅助的偏移量跟踪技术在山地冰川表面运动监测中的应用研究
向英杰	利用 LPP 的高光谱影像的降维与目标检测
易佳思	基于 Grabcut 融合多源数据提取不透水面
吴 凯	基于 Triple Collocation 方法的土壤湿度误差分析
余 健	基于改进的 METRIC 模型的农田潜热通量估算研究
郭晶鹏	黑龙江工业城市建设用地时空扩展遥感监测
汪子义	Landsat8 OLI 数据斑岩铜矿遥感蚀变矿物组合提取研究
杨 军	一种改进的 ICM 遥感影像分割算法
杨 斌	Sentinel-2A 卫星数据处理分析及在干旱河谷提取中的应用
吴 莹	积雪陆表微波观测资料干扰识别方法的对比分析