

文章编号: 2095-2163(2023)02-0165-04

中图分类号: TP394.41

文献标志码: A

基于 DCT 域的遥感图像目标显著性检测算法

罗雅丹, 蓝如梦, 谭盛辉

(广西壮族自治区地图院, 南宁 530023)

摘要: 为进一步提升遥感图像目标检测的速度和精度, 针对目标与周围环境存在一定特征差异的特点, 提出一种基于离散余弦变换(DCT)域的遥感图像目标显著性检测算法。直接在 DCT 域中进行显著性检测, 重点计算每个 DCT 块的自适应标准差作为 DCT 块之间的差异权重系数, 并结合亮度、颜色和纹理特征差异矩阵生成最终结果。实验表明, 该算法可以提高运行效率和检测精度。

关键词: 遥感图像; 目标检测; DCT 域; 显著性; 自适应标准差

Salient target detection of remote sensing image based on DCT domain

LUO Yadan, LAN Rumeng, TAN Shenghui

(Guangxi Institute of Mapping, Nanning 530023, China)

【Abstract】 To upgrade the velocity and accuracy of remote sensing image object detection, focusing on the differences between the target and surrounding area, this paper proposes a novel method for salient target detection based on discrete cosine transform (DCT) domain. It performs saliency detection in the DCT domain directly, and calculates its adaptive standard deviation for each DCT block as difference weight coefficient between the DCT blocks. Finally, the results generated by combining the brightness, color and texture feature difference matrix. Experimental results show that it has higher efficiency, and better detection accuracy and efficiency.

【Key words】 remote sensing image; object detection; DCT domain; saliency; adaptive standard deviation

0 引言

近年来, 遥感技术因信息丰富直观的特点而备受重视和关注, 已广泛应用于军事、气象、农林牧渔等领域, 同时也推进了相关数据处理技术的发展。特别是基于视觉显著性的遥感目标检测和跟踪算法, 也引起了遥感学者们的关注和深入研究。魏等人^[1]将视觉注意机制引入到遥感图像的目标检测中, 采用自顶向下和自底向上的显著性融合方法, 计算权重向量, 将所有的特征图乘以权重向量得到显著图。针对显著性检测算法在复杂多目标遥感图像中检测能力不足问题, 闫等人^[2]结合显著性检测和超像素分割, 检测原始影像中部分显著性较高的区域。针对光学遥感图像中复杂海背景下的舰船检测问题, 王等人^[3]利用基于最大对称环绕显著性检测, 完成初始目标候选区域提取, 结合图像局部相似性进行优化显著性检测。但是, 上述方法仅是

结合相对简单的视觉显著性检测方法进行目标检测, 并没有考虑目标与周围影像的特征差异, 显著性检测的精度和效率都有待提高。

人类视觉体系能够快速发现视觉范围内最重要的显著区域(region of interest, ROI), 即视觉显著性检测。学者们通过深入研究人类视觉体系的注意机制, 提出了视觉显著性(Saliency)定义, 并提出了不同的显著性检测算法。如: 纯数学分析的全分辨率算法^[4]、基于空间频域分析的谱残差算法(Spectral Residual Approach, SR 算法)^[5]、频域调整算法(Frequency-tuned, FT 算法)^[6]、基于图的显著性算法(graph-based visual saliency, GBVS 算法)^[7]、多特征多尺度算法^[8]、基于区域对比的信息混合编码算法^[9]、基于弱监督学习的联合算法^[10]等等。以上算法, 在进行检测前必须先把 JPEG 图像完整地解码到像素域, 消耗终端设备过多的计算量。为了免除解码产生的复杂运算, Fang 等人^[11]提出了直接

作者简介: 罗雅丹(1992-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 遥感图像处理、地理信息系统建设; 蓝如梦(1990-), 女, 学士, 工程师, 主要研究方向: 地图制图、地理信息系统建设; 谭盛辉(1981-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 地图制图、数字摄影测量。

通讯作者: 蓝如梦 Email: 329439930@qq.com

收稿日期: 2022-03-20

在 DCT 域中进行显著性检测的算法,充分发挥现有数据的作用。由于 JPEG 压缩码流的 DCT 块存在较多零数据,能够极大降低计算机运算量,提高数据处理效率。笔者曾在此基础上提出了改进的基于 DCT 域的图像缩放算法^[12],以及基于 DCT 域的视频运动显著性检测算法^[13]。目前,基于 DCT 域的显著性检测算法的研究比较少,算法可提升空间较大。

本文针对遥感图像中目标与周围环境存在一定特征差异的特点,提出一种基于 DCT 域的目标显著性检测算法,提高遥感图像目标检测的精度和效率。该算法综合考虑复杂多样的遥感图像特征,增加自适应的标准差计算块差异,提高目标显著性检测的准确率;直接在 DCT 域中对 DCT 块进行显著性检测计算,极大提高运算效率。

1 算法实现

1.1 算法框架

本文算法框架如图 1 所示,其实现过程如下:

步骤 1 JPEG 码流部分解码获取 DCT 系数。

本文采用 JPEG 算法中的顺序编码工作模式,从左到右和从上到下扫描,根据 4:2:0 抽样比例直接从数据流中获取 DCT 系数^[14]。遥感图像经过熵解码器解码得到量化的 DCT 系数,再经由反量化表获取相应的 DCT 系数。

步骤 2 在 DCT 域中提取 DCT 系数的颜色、亮度和纹理等特征,计算差异值得到各个特征的特征差异矩阵。

步骤 3 根据不同图像大小所对应的 DCT 块分布,计算基于 DCT 块的自适应标准差,并结合基于欧氏距离的高斯分布函数,分别计算各个特征的块差异权重系数,从而得到各个特征的显著图。

步骤 4 采用归一化融合规则计算出最终的显著图。

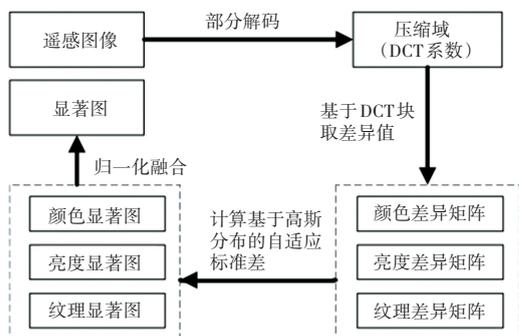


图 1 算法框架

Fig. 1 Framework of proposed algorithm

1.2 颜色、亮度和纹理特征

本文所获取的亮度和颜色特征由 DC 系数计算得到,而纹理特征则是由 YCrCb 颜色空间中的 AC 系数 Y 分量的总和构成^[15]。

1.3 颜色、亮度及纹理特征差异

(1) 颜色与亮度特征差异

已知颜色特征为 I , 亮度特征为 C_{rg} 和 C_{by} , 计算出每一个块与其它所有块的颜色和亮度差异值,即为当前块的特征差异矩阵。

(2) 纹理特征差异

已知纹理特征为 T , 计算出每一个块与其它所有块的纹理特征差值,再对差值取 2 范数,即为当前块的纹理特征差异矩阵。

1.4 基于 DCT 块的自适应标准差

DCT 块与块之间的差异程度可用于定义块的显著度。文献[12]中根据基于欧氏距离的高斯分布函数来计算块差异的权重系数。DCT 块之间的差异距离较小时,则差异权重较为明显,反之则较为微弱。该规律完全符合高斯分布函数曲线中间高、两头低、左右对称的特点。因此,对于当前的 DCT 块而言,与来自距离更远的块相比,距离更近的块的权重系数会更大。若 DCT 块 i 与其它所有 DCT 块之间的差异均比较大,则该 DCT 块 i 的显著值会比较大,且与临近块的显著值大于远于临近块的显著值^[13]。

假设一幅遥感图像的分辨率为 $8m \times 8n$, 则该图像中包含 $m \times n$ 个 DCT 块。计算每个块与图像中所有块的欧氏距离,组合得到每个块的距离矩阵;然后根据 DCT 块的分布求出该矩阵的标准差,即为当前块的 σ 。

文献[12]中统一采用固定的标准差 $\sigma = 5$, 然而随着块与块之间的距离发生变化,块与块之间的标准差也会随之变化,固定的标准差会影响检测结果的准确性和精度。另一方面,不同分辨率的遥感图像, d 和 σ 值也不同,矩阵 d 和标准差 σ 也会不一样。因此,本文针对不同图像、不同 DCT 块分布情况计算每个块的自适应标准差 σ 值。

(1) 计算基于 DCT 块的欧氏距离矩阵 d 。块 i 与块 j 之间的位置坐标欧氏距离 d_{ij} :

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

式中: x_i 和 y_i 分别是 DCT 块 i 在水平方向和垂直方向上的位置坐标值, x_j 和 y_j 分别是 DCT 块 j 在水平方向和垂直方向上的位置坐标值,得到大小为 $m \times n$ 的矩阵 d 。

(2) 计算块 i 矩阵的标准差 σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{k=1}^k (d_{ij} - \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k d_{ij})^2} \quad (2)$$

其中, d_{ij} 是 DCT 块 i 与当前图像所有块的坐标欧氏距离, k 是当前图像的 DCT 块数目, 即 $k = m \times n$ 。

1.5 基于 DCT 域自适应标准差的显著性检测

本文选择基于自适应标准差的高斯分布函数来定义块差异, 结合各个特征的差异矩阵, 得到特征显著图 $M^t (t = 1, 2, 3, 4)$ 。

1.5.1 权重系数计算

块 i 与不同的块 j 之间的权重系数 φ_{ij} 为

$$\varphi_{ij} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-d_{ij}^2/2\sigma^2} \quad (3)$$

其中, σ 是块 I 的标准差。本文根据 DCT 块的分布大小计算出自适应的 σ , 不同位置的块对应不同的标准差。

1.5.2 特征显著图计算

块 i 的第 t 个特征显著值 M_i^t 为

$$M_i^t = \sum_{j \neq i} \varphi_{ij} D_{ij}^t \quad (4)$$

其中, $t \in \{I, C_{rg}, C_{by}, T\}$; 颜色特征为 I ; 亮度特征为 C_{rg} 和 C_{by} ; 纹理特征为 T 。 D_{ij}^t 为 DCT 块 i 与不同的块 j 之间的第 t 个特征差异。

由上可获得亮度、颜色和纹理特征显著图 $M^t (t \in \{I, C_{rg}, C_{by}, T\})$ 。

1.5.3 融合显著图计算

根据特征显著图, 采用归一化融合, 也就是对原始数据进行线性变换, 把数据映射到 $[0, 1]$ 之间, 得到最终的显著图 M :

$$M = \sum_{t=1}^4 \alpha N M^t + \theta \prod_{t=1}^4 M^t \quad (5)$$

其中, M^t 是各个特征显著图; N 是归一化操作; α 和 θ 分别表示公式中对应的权重系数 (本文设置 $\alpha = \theta = 0.2$)。

2 实验结果与分析

本文实验数据的遥感图像来自 Google Earth。实验中对 100 组遥感图像进行了目标检测。实验软硬件环境如下: Intel Core i7-6500U 2.50 GHz 处理器, 16.0 GB 内存容量, 软件版本 MATLAB 9.0。为了衡量算法的性能, 本文从图像主观效果和客观质量两方面, 分别对本文算法和文献 [1]、文献 [2] 算法进行了性能比较。

2.1 主观结果比较

图 2 和图 3 分别是不同场景下, 不同算法的目标检测结果比较。

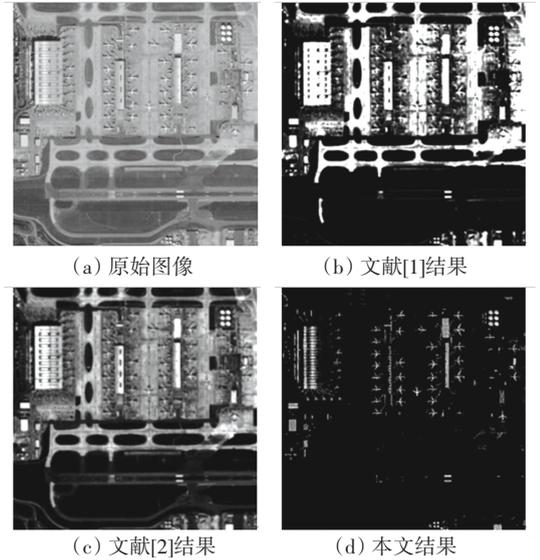


图 2 场景 1 不同算法的结果比较

Fig. 2 Comparison of the different saliency detection algorithms in scenario 1

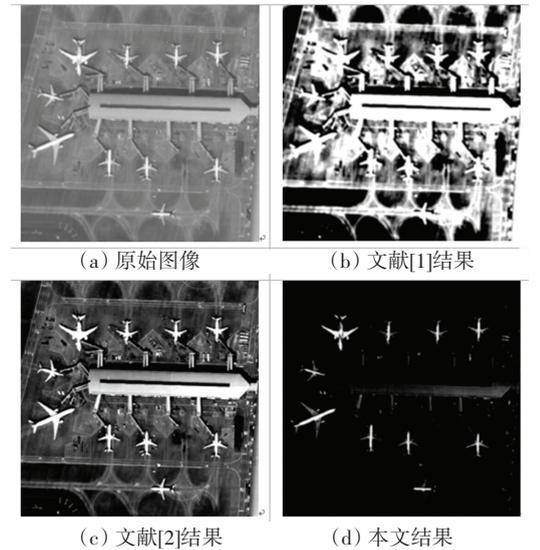


图 3 场景 2 不同算法的结果比较

Fig. 3 Comparison of the different saliency detection algorithms in scenario 2

由图 2、图 3 可见, 文献 [1] 算法的结果中很大一片区域均被视为显著内容, 检测结果不明显; 文献 [2] 算法的结果中飞机并不是整幅图像的唯一显著目标, 虽然能够检测出部分显著内容, 但也将部分不重要的内容视为显著内容, 检测结果一般; 而本文算法结果中, 均突出了飞机目标的轮廓, 能正确检测出飞机所在的区域, 检测结果较优。

综上, 从主观来看文献 [1]、文献 [2] 算法的显

著内容不够显著,而本文算法的显著内容相对显著,由此可见本文算法的主观效果更胜一筹。

2.2 客观结果比较

为了进一步定量分析显著模型的优劣以及对于遥感图像的适用性,验证本文显著性检测算法的性能,将本文算法与文献[1]、文献[2]算法的显著性检测算法进行对比。

本文采用接受者工作特征(receiver operating characteristic, *ROC*)曲线作为显著性检测算法性能的客观评价标准。根据*ROC*曲线下的面积(area under curve, *AUC*),可以对显著性检测算法的整体性能做出定量的评估,*AUC*越大,则算法的准确性越高。*ROC*评测法中用到正确数据标注图(ground truth map),其是由人力标记将一幅图像中的显著区域的各个像素点设置为目标点(像素值设置为255),非显著部分区域的各个像素点设置为背景点(像素值设置为0)。正确数据标注图是一幅大小与源图像相同,取值只有0和255的标准图像。

不同算法的*AUC*结果比较见表1。由表1可知,在几种算法中,本文所用算法曲线下的面积*AUC*最大,算法的准确性最高。因此,相比其它算法,基于DCT域的显著性目标检测算法不仅减少计算量和提高运行效率,整体性能表现更佳。

表1 不同算法的*AUC*结果比较

Tab. 1 Comparison results of *AUC* between different saliency detection algorithms

	文献[1]	文献[2]	本文
<i>AUC</i>	0.802 8	0.882 9	0.935 7

综上,通过从图像主观效果和客观质量两方面进行比较分析,本文的显著性检测算法具有较好的目标突显和检测效果,在机场、港口和桥梁等重要位置的目标检测应用中可以发挥一定的作用。

3 结束语

基于大幅面遥感图像目标较小检测较难的特点,为了提高目标检测的速度和精度,本文深入研究视觉注意机制,考虑目标与周围环境的特征差异,提出了基于DCT域的遥感图像目标显著性检测算法。

该算法直接在DCT域中提取亮度、颜色和纹理等特征,并根据不同位置的DCT块与块之间的标准差不同的特点,着重计算每一个DCT块自适应的标准差作为DCT块之间的差异权重系数,结合特征差异矩阵进一步提取目标显著区域。实验结果表明,本文算法的显著性检测较为明显,提高了目标检测的效率和准确度。

参考文献

- [1] 魏龙生,罗大鹏. 基于视觉注意机制的遥感图像显著性目标检测[J]. 计算机工程与应用,2014,50(19):11-15.
- [2] 闫琦,李慧,荆林海,等. 一种结合显著性检测和超像素分割的遥感信息提取算法研究[J]. 计算机应用研究,2018,35(7):2207-2210,2218.
- [3] 王慧利,朱明,蔺春波,等. 光学遥感图像中复杂海背景下的舰船检测[J]. 光学精密工程,2018,26(3):723-732.
- [4] ACHANTA R, ESTRADA F, WILS P, et al. Salient Region Detection and Segmentation [M]// Computer Vision Systems. Berlin: Springer, 2008: 66-75.
- [5] HOU X, ZHANG L. Saliency detection: a spectral residual approach[C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2007: 1-8.
- [6] ACHANTA R, HEMAMI S, ESTRADA F, et al. Frequency-tuned salient region detection[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2009: 1597-1604.
- [7] HAREL J, KOCH C, PERONA P. Graph-based visual saliency [C]//Advances in Neural Information Processing Systems. 2006: 545-552.
- [8] 丁鹏,张叶,贾平,等. 基于视觉显著性的海面舰船检测技术[J]. 电子学报,2018,46(1):127-134.
- [9] 余超杰,朱玉全. 基于区域对比信息混合编码的图像显著性检测方法[J]. 计算机应用与软件,2021,38(4):171-176.
- [10] 周小龙,陈小佳,陈胜勇,等. 弱监督学习下的目标检测算法综述[J]. 计算机科学,2019,46(11):49-57.
- [11] FANG Y, CHEN Z, LIN W, et al. Saliency detection in the compressed domain for adaptive image retargeting [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(9): 3888-3901.
- [12] 罗雅丹,唐振华,覃团发. 基于DCT域视觉显著性检测的图像缩放算法[J]. 计算机应用研究,2016,33(1):296-299,320.
- [13] TANG Z, LUO Y, ZHANG R, et al. Motion saliency detection for compressed videos [J]. Journal of Electronic Imaging, 2017, 26(5):1.
- [14] WALLACE G. The JPEG still picture compression standard [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1992, 38(1): 30-44.
- [15] ITTI L, BALDI P. Bayesian surprise attracts human attention [J]. Vision Research, 2009, 49(10): 1295-1306.