

基于层次反应型 agent 的可见光遥感图像阴影提取

陈克,尹东,马婧,张开华

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系,安徽合肥 230027)

摘要:根据可见光遥感图像中阴影区域的特点,提出一种新的利用层次反应型 agent 的阴影区域提取方法.层次反应型 agent 分为底层阴影搜索 agent 和高层管理 agent 两部分.底层分布式搜索 agent 感知图像局部信息,通过定居、发展、迁徙、标记和死亡行为搜索可见光遥感图像中的局部阴影区域;高层管理 agent 感知全局信息,对底层分布式搜索 agent 的搜索行为进行约束和指导.实验结果表明,该方法效率较高,并且可以有效地提取可见光遥感图像中的阴影区域.

关键词:反应型 agent;搜索 agent;管理 agent;阴影提取;可见光遥感图像
中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

Shadow extraction based on layered reactive agents in remote sensing optical images

CHEN Ke, YIN Dong, MA Jing, ZHANG Kai-hua

(Dept. of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: To extract the shadow region in the remote sensing optical images effectively, a novel approach, which used layered reactive agents according to the feature of shadow region, was represented. The layered reactive agents can be divided into two parts: shadow searching agents and monitoring agent. The searching agents detected the local shadow region by the behaviors such as inhabitation, breeding, diffusion, labeling and death in the local image environment; the monitor agent understands the global environment of the image, and then instructed the searching agents. The experimental results on remote sensing optical images show that the approach is rapid and efficient.

Key words: reactive agent; searching agent; monitor agent; shadow extraction; remote sensing optical image

0 引言

在遥感图像处理过程中,阴影的存在,一方面将直接影响相应阴影区域地物的目标识别等算法的成功率;另一方面,它可以提供大量关于产生阴影的目标形状等信息,因此研究阴影区域的提取具有重要意义.但是,如何检测图像中的阴影区域一直是遥感

图像处理领域的一个难题.迄今为止,针对这一问题,已经提出了多种解决方法,根据是否需要环境条件的先验知识进行分类^[1],一类是根据影像中地物几何形状或 DSM 数据与太阳、遥感器等有关参数计算阴影区域^[2,3],这类方法要求处理前获得形成阴影物体的先验知识,很难处理大多数缺少足够先验信息的数据;另一类是无先验知识阴影提取算法,

如直方图峰值检测法,该方法虽然简单,但对一些复杂情况适用性不强,郭海涛等^[4]提出一种多重约束条件下的阴影提取方法.这种方法对约束条件有较强的依赖性,难以适应不同成像条件图像.

观察大量的遥感图像发现,遥感图像中的阴影特征可概括为三点:阴影使所投射地表的表面亮度明显降低,但不改变原地表、目标的光照特征;相较于非阴影区域,同一阴影区域内部灰度一致性很强;分布在图像不同位置的各阴影区域之间的灰度一致性也较强.

Agent 作为一种具有感知能力、问题求解能力和互相协作能力的抽象实体,已经成为人工智能和计算机科学的研究热点. Liu 等^[6]设计了一类可以随机搜索、检测一致区域的反应型 agent,并利用其分割 CT 图像,取得很好的效果.根据阴影区域及其分布特点,本文定义了一种层次反应型 agent 结构,较好地克服了已有方法的缺点,能够有效提取出不同条件下的可见光遥感图像中的阴影区域.

1 反应型 agent 模型

反应型 agent 不依赖任何符号表示,直接感知环境并产生行动.反应结构的设计部分是来自假设的 agent 行为,agent 行为的复杂性不是 agent 内部复杂设计的反映,而是 agent 运作环境复杂性的反映.反应型 agent 的典型结构如图 1 所示.

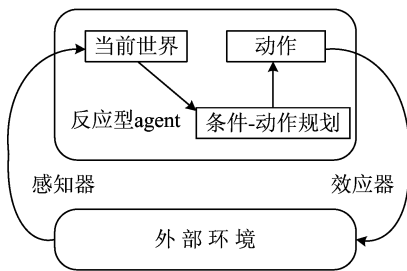


图 1 反应型 agent 的结构图

Fig. 1 Structure of the reactive agent

假设环境是任何离散瞬时状态的有限集合

$$E = \{e, e', \dots\} \quad (1)$$

Agent 有一个可执行动作的清单,它们改变环境的状态,令有限的动作集合为

$$Ac = \{\alpha, \alpha', \dots\} \quad (2)$$

Agent 在环境中的一次执行 r 是环境状态与动作交替的一个序列

$$r: e_0 \xrightarrow{\alpha_0} e_1 \xrightarrow{\alpha_1} \dots \quad (3)$$

反应型 agent 的行为可以表示成函数

$$Ag: E \xrightarrow{\text{see}} \text{Per} \xrightarrow{\text{plan}} \text{Per}^* \xrightarrow{\text{action}} Ac \quad (4)$$

式中, see, plan, action 分别对应感知器、条件-动作规划,效应器, per, per* 分别对应当前感知集合和准备动作集合.

2 用于阴影检测的层次反应型 agent 结构行为设计

2.1 层次反应型 agent 的总体架构

本文设计的层次 agent 结构由底层阴影搜索 agent 和高层管理 agent 组成.底层和高层 agent 都符合反应型 agent 模型,如图 2 所示.

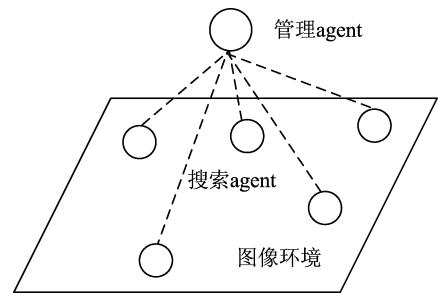


图 2 层次 agent 总体架构图

Fig. 2 Global structure of the layered agents

阴影搜索 agent 负责感知局部图像环境,并对感知结果做出反应,通过自身的智能行为不断寻找并标记阴影区域,但它无法把握阴影检测全局信息和整体过程.

管理 agent 负责感知图像的全局环境和当前阴影搜索 agent 的搜索合理性,并对阴影搜索 agent 进行指导和约束.

2.2 阴影搜索 agent 设计

为了下文判断阴影搜索 agent 的定居条件.首先定义该 agent 的三个局部阴影相似度量,它们的作用等效为式(1)的中 E ,具体表达式如下:

(I) 局部灰度相似点数

$$C_{(i,j)\text{-region}} = \sum_{\|(i,j)-(k,l)\| \leq R_{(i,j)\text{-region}}} \rho(i,j,k,l) \quad (5)$$

其中

$$\rho(i,j,k,l) = \begin{cases} 1, & \|I(i,j) - I(k,l)\| \leq \delta \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

(II) 局部区域均值

$$\text{mean}_{(i,j)\text{-region}} = \frac{1}{N} \sum_{\|(i,j)-(k,l)\| \leq R_{(i,j)\text{-region}}} I(k,l) \quad (7)$$

(III) 局部标准差值

$$\text{std}_{(i,j)\text{-region}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\|(i,j)-(k,l)\| \leq R_{(i,j)\text{-region}}} (I(k,l) - \text{mean}_{(i,j)\text{-region}})^2} \quad (8)$$

式中, $I(i,j)$ 为 (i,j) 点处的像素灰度值, 式(6)中的 δ 为经验参数, $R_{(i,j)\text{-region}}$ 如图 3 所示, 为 agent 作用半径。

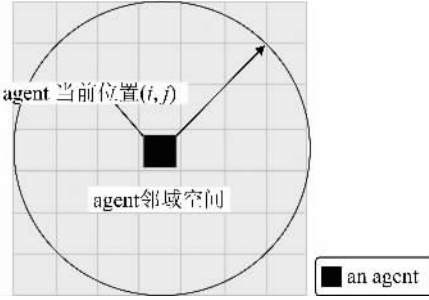


图 3 阴影搜索 agent 邻域示意图
Fig. 3 The local neighboring region of a shadow searching agent

本文设计的分布式阴影搜索 agent 直接附着在图像的单个像素上, 计算其邻域环境局部阴影相似度, 并通过定居、发展、迁徙、标记、死亡这五类行为不断寻找阴影区域。这些行为在一定条件下被触发, 属于阴影搜索 agent 的条件规划行为。

定居: Agent 具有感知其邻域环境并且判断该环境是否适合生存的能力, 当环境适于生存, 它就在其中定居。智能体 A 具有如下定居准则:

- (I) $R_{(i,j)\text{-region}}$ 具有特定的图像特征。
- (II) $R_{(i,j)\text{-region}}$ 具有与阴影区域相似的特征。

准则(I)允许加入具体应用环境的先验知识(如灰度水平、纹理属性等), 用来保证 agent 定居在对任务有意义的图像上下文中, 从而避免不必要的计算。本文实验算法对准则(I)未作要求。

准则(II)要求 agent 在具有鲜明的阴影特征的像素点定居。本文算法加入的限制条件包括

$$C_{(i,j)\text{-region}} \geq C_{\min} \quad (9)$$

$$\text{mean}_{(i,j)\text{-region}} \leq M_{\max} \quad (10)$$

$$\text{std}_{(i,j)\text{-region}} \leq S_{\max} \quad (11)$$

发展: 阴影搜索 agent 具有拓展生存空间的倾向, 在本文算法中, 它获得更大的生存空间的方式是繁殖后代。根据阴影的特点, 我们认为, 当某个阴影搜索 agent 成功定居后, 它的邻域范围内的像素点是阴影点的概率较大。因此, 阴影搜索 agent 发展繁殖的具体方法是: 代号为 A 的 agent 在成功定

居后会产生 4 个孩子, 4 个孩子的当前位置分别是该 agent 的四邻域邻点, 即

$$A_{(i,j)}^{(g)} \longrightarrow \{A_{(i-1,j)}^{(g+1)}, A_{(i+1,j)}^{(g+1)}, A_{(i,j-1)}^{(g+1)}, A_{(i,j+1)}^{(g+1)}\} \quad (12)$$

式中, $A_{(i,j)}^{(g)}$ 表示第 g 代, 定居位置为 (i,j) 的 agent。

迁徙: 没有成功定居的阴影搜索 agent, 为获得生存发展的机会, 它们需要在图像中不断搬迁以便捕获适于生存的环境, 该过程称作迁徙。迁徙过程中, 它们的年龄逐渐增大。agent 这种随机搜索行为可以驱使阴影搜索 agent 群发现新生存环境。

本文设计的阴影搜索 agent 迁徙具体过程可以描述为: 对 $g+1$ 代仍未成功定居的代号为 $A^{(g+1)}$ 的 agent, 首先寻找它的父亲 $A^{(g)}$, 若它的父亲不存在即它是第一代 agent, 则随机选择一个迁徙方向 e 和迁徙距离 r 。若它的父亲 $A^{(g)}$ 存在, 则通过它的父亲 $A^{(g)}$ 找到它的第 $g+1$ 代的兄弟们 $\{B^{(g+1)}\}$; 然后统计它们中通过迁徙行为而成功定居的那些 agent 的迁移方向, 形成一张方向直方图; 最后以每个迁徙方向在直方图中的值在它们总和中的比例为概率, 随机产生一个迁徙方向 e , 另外再生成一个均匀分布于区间 $[-R, R]$ 上的迁徙距离 r 构成数对 (e, r) , 其中 R 为事先给定的最大迁徙距离, 则数对 (e, r) 就确定了 $A^{(g+1)}$ 的新位置。这种迁徙机制总结家族成功迁徙经验, 可以从概率意义上保证搜索 agent 快速定居。

标记: 当某阴影搜索 agent 在一个像素点处成功定居或未能成功定居后, 该 agent 会在标记图像上记录测试信息。如果该环境适合生存, 则 $\text{label}(i, j) = \text{label}A$, 否则 $\text{label}(i, j) = \text{label}B$ 。其中 $\text{label}A$, $\text{label}B$ 为系统预先设定的参数, 用来标记该环境是否适合生存, label 为标记图像。

死亡: 阴影搜索 agent 在经历发展或超出最大迁徙次数后, 进入死亡状态。死亡状态分成两种情况:

(I) 当某 agent 在成功标记和繁殖子代后, 它已经完成算法赋予的使命, 进入不活动的状态, 即死亡状态。

(II) 某 agent 在经过 N 次迁徙后, 仍然没有找到满足条件的定居点, 此时 agent 的年龄为 N , 若 N 超出系统预设的最大年龄, 则强制其进入死亡状态。

死亡机制抑制能力弱的 agent, 驱使种群发现新的适合生存的环境, 避免系统陷入局部最优解。

2.3 管理 agent 设计

管理 agent 的重要的作用是判断当前搜索 agent 的搜索行为是否满足要求. 本文根据阴影特征, 定义了一种全局搜索合理性度量

$$R^{(g)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{L(i,j)=\text{labelA}} (I(i,j) - M^{(g)})^2} \quad (13)$$

其中

$$M^{(g)} = \frac{1}{N} \sum_{L(i,j)=\text{labelA}} I(i,j) \quad (14)$$

$I(i,j)$ 表示原图像在 (i,j) 处的像素值, $\text{label}(i,j)$ 表示当前标记图像在 (i,j) 处的像素值, labelA 表示搜索 agent 满足定居条件的标记值, $R^{(g)}$ 表示第 g 代搜索 agent 的合理性度量.

管理 agent 在每一次迭代后根据合理性度量方法计算 $R^{(g)}$, 如果 $R^{(g)} > R_M$, 说明当前定居条件不满足合理性条件, 应对定居条件进行调整.

定居条件包括式(5), (6), (7), 涉及三个参数 $\{C_{\min}, M_{\max}, S_{\max}\}$. 其中 $\{C_{\min}, S_{\max}\}$ 对于不同遥感图像通常固定, 而 $\{M_{\max}\}$ 与光照, 目标等成像条件有关, 因此本文算法主要对 $\{M_{\max}\}$ 进行调整, 具体的调整策略为

$$M_{\max}^{(g+1)} = K_{\text{threshold}} \quad (15)$$

$K_{\text{threshold}}$ 为对图像 $R = \text{label} \& I$ 进行两类灰度 K -mean 聚类后得到的分割阈值.

管理 agent 的存在, 保证了底层阴影检测 agent 的容差条件能够自适应调整, 使得算法可以适应不同光照条件下的图像.

3 算法实现步骤

Step 1 首先生成一个 agent 群 $\{A_i\}_{i=1}^K$, K 是预设参数, 表示初始 agent 个数. 年龄设为 1, 并将它们放入活动 agent 队列 active 中.

Step 2 对于队列 active 的每个 agent, 根据定居条件检查该 agent 是否可以定居. 若可以定居, 将该 agent 所对应标记图像像素点标记为 labelA, 然后繁殖后代, 并将后代加入到队列 active 中, 将其自身从队列 active 中删除; 若不可以定居, 首先将该 agent 所对应标记图像像素点标记为 labelB, 然后判断其年龄是否大于最大年龄, 若是, 则将它从队列 active 中删除, 否则进行迁徙活动. 生成新坐标, 同时将年龄加 1.

Step 3 利用式(13)计算当前标记图像的合理性度量值, 若度量值大于预定参数, 则利用式(15)修

正定居条件中的 $\{M_{\max}\}$, 并进入 Step 1; 若度量值小于预定参数, 则进入 Step 4.

Step 4 判断活动 agent 队列 active 是否为空或图像是否被全部标记, 如果是, 则进入 Step 5 操作. 否则重新执行 Step 2.

Step 5 对结果图像进行后续处理, 标记像素值等于 labelA 的像素为 255, 标记其他像素为 0. 得到二值图像后, 再对图像进行膨胀操作, 去毛刺, 则可以得到最终的结果图像.

4 实验及结果分析

为有效验证本文方法的合理性, 我们选择了一组典型的局部可见光遥感图像作为实验图像, 包括油库、机场、建筑物群、港口共四类目标.

图 4 显示了一幅普通的含有阴影和油库目标的可见光图像. 图 4(b)~(d) 显示利用本算法检测阴影区域的一个渐进过程, 总执行时间为 7.26 s.

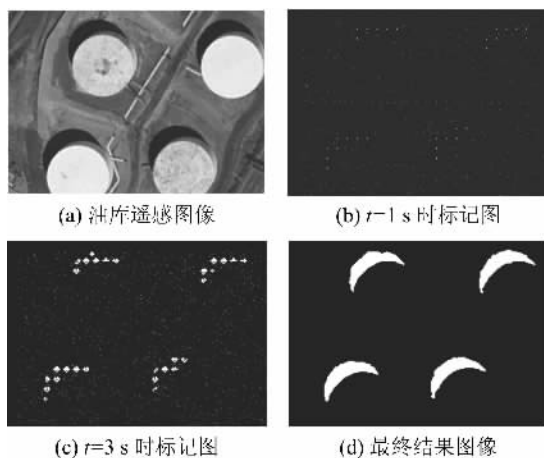


图 4 某油库图像及其标记过程

Fig. 4 An oil-storage image and its labeling process

实验参数: 初始智能体数目为 400, 最大年龄为 4, 邻域半径为 2, 局部灰度相似点数下限为 4, 局部区域均值上限初始值为输入图像均值, 局部标准差上限为 7.

实验平台: 实验软件 MS VC6.0, 运行环境 CPU 主频 1.60 GB, 内存 DDR512 MB.

图 5~7 是比较典型的另外三类目标的遥感图像及相应的阴影检测结果. 其中, 图 5 为某机场局部图像及利用本文算法的阴影检测结果; 图 6 为某建筑群局部图像及利用本文算法的阴影检测结果; 图 7 为港口局部图像及利用本文算法阴影检测结果.

除了这些图像之外, 我们对每类目标都另选了

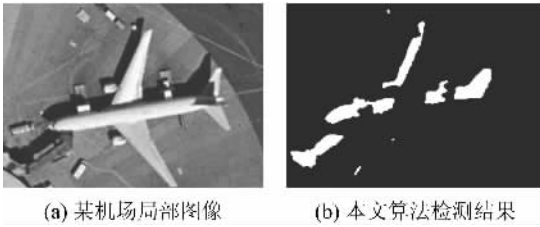


图 5 某机场局部图像及本文算法检测结果

Fig. 5 A subimage of an airport and its resulting image

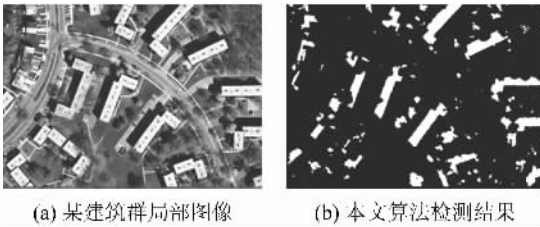


图 6 某建筑群局部图像及本文算法检测结果

Fig. 6 A cluster-buildings image and its resulting image

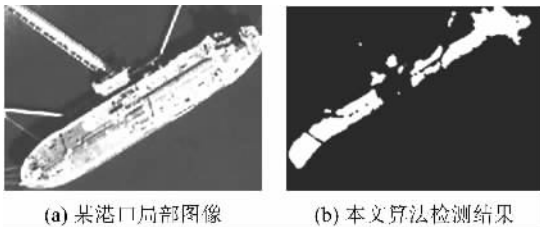


图 7 某港口局部图像及本文算法检测结果

Fig. 7 A subimage of a seaport and its resulting image

9 幅图像进行实验. 在实验结果表中, 我们把本文方法阴影检测结果与目测阴影区域进行比较, 统计了过检和漏检区域占整个阴影区域的比例. 具体如表 1 所示.

表 1 实验结果表

Tab. 1 Experimental result

图像种类	总过检率	总漏检率	平均执行时间
油库局部图像	2.78%	3.42%	7.52 s
机场局部图像	2.13%	5.65%	7.05 s
建筑群图像	3.55%	4.92%	8.16 s
港口局部图像	8.07%	5.11%	10.29 s

【注】 每幅局部图像尺寸均为 400×400 像素

从实验结果可以发现, 本文方法对不同目标在不同成像条件下形成的阴影都有较好的效果, 并且对阴影的形状不敏感. 机场局部图像和建筑群图像

的检测结果显示本文方法较成功地克服了机场平坦设施及建筑物屋顶低灰度区的影响, 港口局部图像检测结果则显示本文方法能比较有效地抑制水体对阴影检测结果的影响. 总执行时间表明本文算法的复杂度较低, 对单幅局部遥感图像 (400×400 像素) 的计算时间在 7~11 s, 有一定的应用可能性.

5 结论

如何有效检测可见光遥感图像中的阴影区域是一项具有挑战性的研究课题, 本文在分析可见光遥感图像中阴影区域特点的基础上, 提出一种合理的可见光遥感图像阴影检测算法. 根据阴影的特点, 定义了一种符合任务要求的反应型 agent 分层结构, 包括分布式阴影搜索 agent 和管理 agent, 然后利用这两种 agent 的智能行为以及它们之间的协作, 最终提取出可见光遥感图像中的阴影区域. 实验表明, 本文算法具有较高的准确性, 同时复杂度较低, 能够完成可见光遥感图像中阴影区域检测任务.

参考文献 (References)

- [1] Yoon J J, Koch C, Ellis T J. ShadowFlash: an approach for shadow removal in an active illumination environment [C]// Proceedings of the 13rd British Machine Vision Conference, Cardiff, UK: INSPEC, 2002: 636-645.
- [2] 李艳, 宫鹏. 基于 DSM 阴影仿真和高度场光线跟踪的影像阴影检测[J]. 遥感学报, 2005, 9(4): 357-362.
- [3] Gils P. Remote sensing and cast shadows in mountainous terrain[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 67 (7): 833-839.
- [4] 郭海涛, 徐青, 张保明. 多重约束下的建筑物阴影提取 [J]. 武汉大学学报, 2005, 30(12): 1 059-1 062.
- [5] 杨益军, 赵荣椿, 汪文秉. 航空图像中阴影区域的检测 [J]. 信号处理, 2002, 18(3): 228-232.
- [6] Liu J, Tang Y Y. Adaptive image segmentation with distributed behavior-based agents [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(6): 544-551.
- [7] He H, Chen Y Q. Artificial life for image segmentation [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2001, 15 (6): 989-1 003.