

用于海上感兴趣区域实时分割的近似算法

吴琦颖, 李翠华*

(厦门大学计算机科学系, 福建 厦门 361005)

摘要: 详细介绍了海上运动目标实时检测和跟踪系统中感兴趣区域分割阶段所使用的主要算法及其优化策略. 主要分析了系统所涉及的两个方面的工作: (1) 引入视觉注意力机制, 在构建金字塔结构的基础上, 提出了一种迭代的基于倒三角小模板的线性低通滤波方法, 快速地实现粗分辨率图像上的平滑滤波, 凸显目标; (2) 用近似区域填充算法或是水平放置的最小外接矩形逼近存在较大缺口的边缘连通分支, 以构成物体的大致区域. 理论分析表明, 这些近似算法在提高运算速率的同时, 仍然具有较高的近似比. 同时实验结果也表明, 算法具有实时性好, 鲁棒性强等特点.

关键词: 区域分割; 滤波; 区域填充; 近似算法

中图分类号: TP 391. 41

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2007)01-0033-05

对于实时性要求很高的系统, 近似算法往往成为加快系统运行速度的首选. 基于视频序列的海上运动目标实时检测与跟踪系统就是这样一个对运行速率要求很高的系统. 与任明武等人开发的长江三峡临时船闸的船舶检测系统^[1, 2] 设计思想不同之处在于: 任明武等人先用基于边缘带周围像素的灰度直方图构造方法检测反光和阴影区域, 再运用概率速度场和光流场的方法区分船和干扰区的运动; 而本文所涉及的海上运动目标实时检测与跟踪系统着重展开的是对感兴趣区域的分割处理, 在此基础上再应用改进的时间差分法在视频序列中检测海上运动目标. 系统的总体流程如图 1 所示, 静态图像分割流程如图 2 所示.

为了确保实时性, 本文系统在静态图像分割阶段, 引入了视觉注意力机制在粗分辨率图像上进行滤波去噪, 在非理想条件下, 通过边缘连通分支确定物体的大致区域.

1 在粗分辨率图像上实现平滑滤波

1.1 视觉注意力机制的引入

如何快速有效地完成静态图像中海上目标的确切分割是一大难题. 注意到虽然海面上的波浪高低起伏, 但它同样具有纹理比较细腻、颜色分布比较均匀等特点. 因此很多学者试着用分形模型描述波浪^[3], 并提出“不能用分形模型描述的即为人造目标”的立

论. 但是这个方法有很大的局限性——需要在图像中移动滑动窗口, 滑动窗口的大小依赖于目标的大小, 可是海上船只来往频繁, 大小参差不齐, 远近不一, 不断地改变窗口大小用于检测目标显然不适用于实时处理. 而 Smith 等人开发的系统利用海面颜色分布比较均匀的特点, 采集了小窗口的波浪直方图作为匹配模板以区分波浪和非波浪^[4]. 但是实际上, 海面的颜色往往是由近及远地渐变的, 一个小窗口的颜色分布不能代表全局, 实践表明这种方法精度不高.

设想一下, 在面朝大海的高处摆上一个望远镜, 我们又是如何在镜头里定位海上目标的呢? 很自然的, 我们首先是在低分辨率的镜头里观测海面、找寻目标. 如果有目标存在, 我们的注意力马上就被凸显的目标轮廓所吸引, 紧接着, 我们的潜意识告诉我们这个轮廓所包围的物体正是目标, 从而, 目标的位置也随之确定下来. 此时, 我们还会注意到那些一直在“晃个不停”的波浪吗? 当然不会, 我们的视网膜早已对这些“无关紧要”的波浪做了模糊滤波处理. 系统参照人类的这种不自觉的表现展开了相应的探索.

1.2 金字塔结构的构建

系统选用亚采样金字塔^[5] 结构实现多分辨率处理, 并在金字塔的顶层进行感兴趣区域分割, 以确保在保留目标大致轮廓的前提下, 具有较高的实时性. 这里亚采样的具体实现是利用像素填充法, 将输出图像一次一个地映射回到输入图像中, 以便确定其灰度级^[6].

设源图像大小为 N , 则金字塔第 C 级图像大小为 $N/2^{2C}$ (为了分析方便, 这里 C 从 0 记起, 第 0 级图像代表的是待处理的高分辨率图像), 构建第 C 级图像算法的计算时间复杂度为 $O(N/2^{2C})$, 是线性时间可

收稿日期: 2006-02-14

基金项目: 国家自然科学基金(60175008), 国家创新研究群体资助项目(60024301)和厦门大学 985 二期信息创新平台项目资助

* 通讯作者: chli@xmu.edu.cn

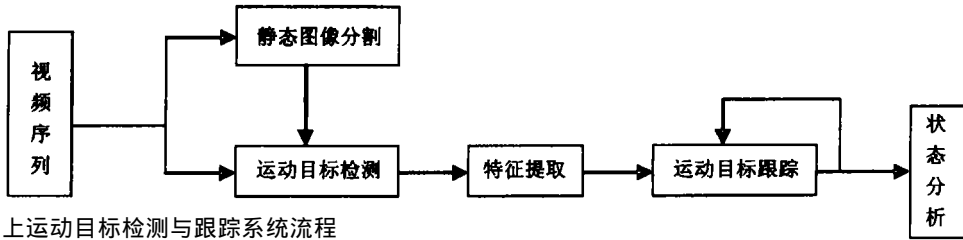


图1 海上运动目标检测与跟踪系统流程

Fig. 1 The flow chart of moving maritime detection and tracking system

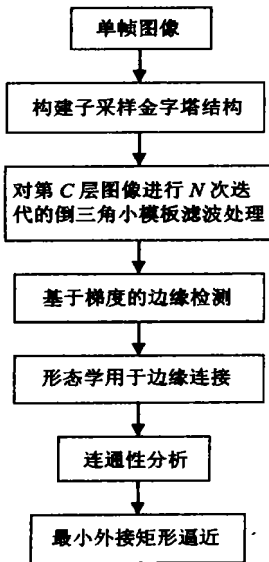


图2 静态图像分割流程

Fig. 2 The flow chart of static image segmentation

计算的。后续的平滑、边缘检测以及边缘连通性分析等静态图像分割操作均在第 C 级图像上展开, 相比在源图像上展开这些操作, 其输入量降为原来 $1/2^C$, 这将提高运行速度至 2^{2C} 倍; 由于静态图像分割阶段仅仅需要得到物体的大致区域, 通过将第 C 级图像上得到的目标区域描述映射回源图像, 其区域面积与在源图像上处理得到的区域面积相差不会超过 2^{2C} , 在目标的尺寸 M 远远大于 2^{2C} 条件下, 其近似比将近似为 1。

1.3 迭代的倒三角小模板运算

在前视海面视频序列中, 海面波浪在图像的下方边缘特性明显, 而在上方则比较平滑。系统提出了一种适用于滤除此种情况下的海面噪声的倒三角低通模板, 其中 3×3 和 5×5 的倒三角模板如图 3 所示, 其模板系数分别为 $1/18$ 和 $1/130$ 。

模板的尺寸越大, 平滑效果越显著, 同时也会消耗更多的时间。基于海面情况具有多变性的特点, 针对不同的海面状况, 滤除海面噪声所需要的平滑强度也不

2	2	2
2	4	2
1	2	1

a. 3×3 模板

4	4	4	4	4
8	8	8	8	8
4	8	16	8	4
2	4	8	4	2
1	2	4	2	1

b. 5×5 模板

图3 倒三角模板示例

Fig. 3 Inversed triangular mask

同。系统给出了针对不同的海面情况, 不同迭代次数的 3×3 的倒三角小模板运算来逼近倒三角大模板运算的方法。迭代的含义具体体现为每执行完一次低通模板运算后, 就将输出图像作为下一次模板运算的输入, 直至达到迭代次数为止。

该方法通过调整迭代次数, 其滤波效果可以近似于大尺寸的模板滤波效果, 但是速率却可以大幅度提升。这是由于在大小为 N 的图像上执行 $(K+1)$ 次迭代的 3×3 模板运算, 其滤波效果近似于执行一次的 $(2K+3) \times (2K+3)$ 模板运算, 前者却比后者要节省 $[(2K+3)^2 - 9(K+1)] \times N = (4K^2 + 3K) \times N$ 次乘法和加法运算。这个结论对于任何非可分离的模板运算都适用, 而可分离的模板运算(如高斯模板), 由于可以分解为两个一维模板运算, 其大模板运算会比迭代的小模板运算复杂度低。

如图 4 所示, 对静态图像进行两次迭代的 3×3 模板运算。在进行一次 3×3 模板运算之后, 有编号为 13 的像素值受到其周围包括自身 9 个像素值的影响。与此同时, 其周围 8 个点的像素值也同时受到它们周围包括自身的 9 个像素值的影响。这样在进行第 3 次 3×3 模板运算之后, 编号为 13 的像素值就直接或间接地受到其周围包括其自身 25 个像素值的影响。这种影响和执行一次 5×5 模板运算的结果很相近。

就大部分的海面情况而言, 需要进行 7×7 倒三角模板运算才能较好地滤除噪声, 系统则采用在第 1 级金字塔图像上进行 3 次迭代的 3×3 倒三角模板运算

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

图 4 迭代的 3×3 小模板运算示例

Fig. 4 Example of making 3×3 small mask iteratively

进行近似, 此时运算速度将提高 $2^2 \times \frac{49N}{3 \times 9N}$ 倍, 这个速度的提高在实时系统的设计当中是令人鼓舞的。

1.4 实验结果

图 6 给出了在晴朗、风较大以及多雾等常见天气下, 对远距离拍摄的海上视频进行平滑滤噪的实验结果。其中图 6. a. 是源视频截取图像, 在晴朗的条件下, 海上的波纹较弱, 目标的外轮廓显著, 在风较大的天气下, 波浪较为显著, 而多雾的天气下, 目标的外轮廓则较为模糊。图 6. b. 是在相应的第 C 级金字塔图像上进行 K 次迭代的 3×3 倒三角模板运算所得到的滤噪结果 (C, K 值的选取如图所示), 其中, 金字塔层数 C 以及倒三角模板的迭代次数 K , 是由对视频序列中背景图像 (如视频序列的第一帧) 的边缘信息的统计训练而得。图 6. c. 是在源图像上执行相应的大尺寸的倒三角模板运算滤噪的实验结果, 模板的尺寸大小如图所示。由实验结果可以看出在第 C 级金字塔图像上进行 K 次迭代的 3×3 倒三角模板运算滤噪效果, 相比在源图像上执行相应大尺寸的倒三角模板运算滤噪效果相当, 在保留目标大致轮廓的前提下, 较大程度地滤除了海面波浪噪声。但是其运行速率却快得多, 在配置为 1.6 G 的奔腾 4 处理器、512 Mb 内存的 PC 机上, 在源图像上应用大模板平滑运算滤噪的平均处理速度为 15 帧/s, 而使用本文算法后, 平均处理速度则可以达到 25 帧/s, 基本达到了实时处理的要求。

2 感兴趣区域的定位

2.1 常用的边缘连接算法

为了便于后续用变形的时间差分法检测海上运动目标, 需要对静态图像中的感兴趣区域进行定位, 在理想情况下, 边缘图像二值化后将得到闭合连通边界图, 此时闭合的连通分支所包围的区域即可确定为感兴趣区域。然而在滤除海面波浪噪声的过程中, 导致边缘模糊, 使二值图像中出现间隙或缺口, 系统通过形态学的闭运算, 以填充小的间隙, 进行边缘连接。但是仍然存在一些大的缺口, 使得边缘连通分支并不是闭合的。

常用的方法是, 搜索连接存在缺口的边缘点的最佳路径, 以形成闭合连通边界图^[6]。首先需要建立一个可以在任意连接两端点的路径上进行计算的边缘质量函数。一个好的边缘质量函数一般是非线性的, 此时最佳路径的求解问题就不再具有最优子结构, 对最优路径的求解, 只能通过对所有可能路径的枚举。特别地, 若按照 8 连通准则, 对缺口大小为 n 的两个边缘点的最优路径进行搜索, 其计算的时间复杂度为 $O(8^n)$, 该方法不能满足实时要求。

由于滤除噪声后的海上目标的边缘较为平滑, 可认为最有可能出现缺口的地方出现在船与海面的交界处 (船底线) 以及船尾的垂直边缘处, 因此目标所处区域的边界可认为是不受断开的边缘的影响。而山脉等本身并不能构成闭合连分支的静止目标的分析, 将在运动目标检测模块涉及。基于这个观察, 给出两个近似比较高的多项式时间近似算法。

2.2 近似填充区域算法

提出了近似填充区域算法用于快速的区域填充。算法对任意连通分支中的所有的边缘点做一次扫描, 以确定在物体的左右边界内, 各个水平坐标在图像的垂直方向上边缘点所在位置的最大最小值, 而后对处于最大最小值间的象素进行填充, 构成物体的区域。对边缘点的扫描决定了算法的时间复杂度, 设输入的连通分支中边缘点数为 M , 则该算法的时间复杂度为 $O(M)$, 是线性时间可计算的。

假设物体的实际区域大小为 C^* , 其区域所在的边界高度为 H , 宽度为 W , 由该近似算法所得的区域大小记为 C , 出现的缺口水平距离为 n , 并假设如下关系成立:

$$C^* = pWH \quad (1)$$

$$n = qW \quad (2)$$

其中, 由于海上目标大致呈梯形, 经验表明 $\frac{3}{4} \leq p \leq 1$, 而系统所采用的边缘检测算法在水平方向上的缺口一般也不会超过底线的 $1/4$, 即 $q \leq \frac{3}{4}$ 。

算法在出现缺口的位置用垂直方向另一侧的边缘点来替代, 此时近似得的物体区域会偏小。如图 5 所

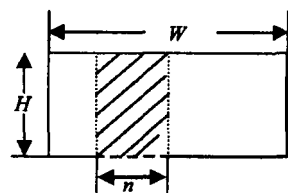


图 5 近似区域填充算法图示

Fig. 5 Example of approximately region filling algorithm



a. 不同条件下视频的截取图像



1. $C = 1, K = 3$

2. $C = 1, K = 3$

3. $C = 1, K = 2$

b. 在第 C 级金字塔图像上执行 K 次迭代的 3×3 倒三角模板低通运算实现平滑滤波

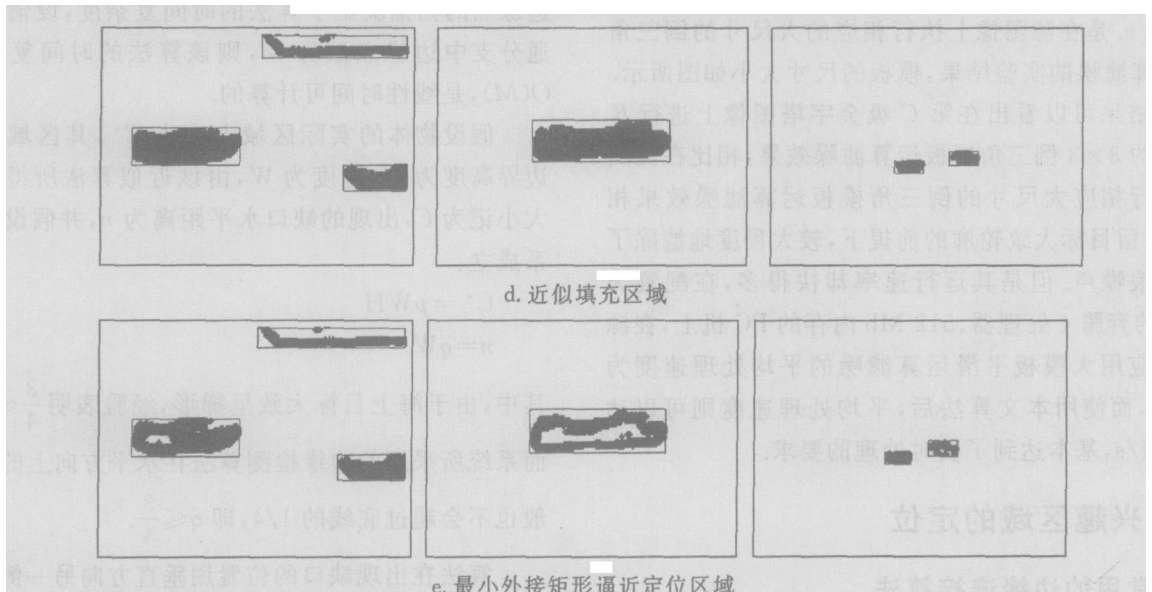


1. 7×7

2. 7×7

3. 5×5

c. 相应的大尺寸倒三角模板运算实现平滑滤波结果比较



d. 近似填充区域

e. 最小外接矩形逼近定位区域

图 6 各种近似算法的实验结果及比较

Fig. 6 Results of the approximation algorithms

示, 其中虚线表示断开的边缘线, 阴影部分表示用近似填充区域算法得到的目标区域略去的那部分区域, 则有下式成立:

$$(C^* - C) \leq Hn \quad (3)$$

故有近似比:

$$\frac{C^*}{C} \leq \frac{1}{1 - \frac{Hn}{C^*}} = \frac{1}{1 - \frac{HqW}{pWH}} = \frac{1}{1 - \frac{q}{p}} \leq \frac{3}{2} \quad (4)$$

2.3 最小外接矩形逼近

可采用水平放置的最小外接矩形逼近算法实现对感兴趣区域的大致定位^[5]. 该算法通过计算任意连

通分支中, 所有边缘点在 x, y 方向的最大最小值, 作为物体最小外接矩形的位置描述: $R = (up, down, right, left)^T = (x_{max}, x_{min}, y_{max}, y_{min})$, 并将包含在该矩形内的所有像素均标记为该区域内. 假设输入的连通分支中边缘点数为 M , 则算法的时间复杂度为 $O(M)$.

此时, 近似比满足:

$$\frac{C}{C^*} = \frac{WH}{C^*} = \frac{1}{p} \leq \frac{4}{3} \quad (5)$$

2.4 实验结果

图6表示在不同条件下用于区域定位的近似算法的实验结果. 6. d. 为用近似填充区域算法得到的区域分布, 其中黑点表示所填充的区域分布, 一个矩形框对应一个连通分支. 6. e. 为用最小外接矩形逼近连通分支的结果, 其中黑点表示边缘二值图中标识的边缘点, 矩形框表示的是所逼近的最小外接矩形. 实验结果表明, 近似填充区域算法在边缘较为连续完整的条件下可以较好地填充物体区域, 而最小外接矩形所逼近的物体区域能够较好地实现对边缘有较大缺口的海上目标的定位, 由于海上目标的形状和矩形框非常接近, 因此区域大小与目标的实际大小也较为接近.

3 结 论

本文给出了近似算法在海上运动目标实时检测系统当中的两大应用: (1) 在粗分辨率图像上进行平滑滤波处理; (2) 定位目标的大致区域. 前者通过构建金字塔结构及使用迭代的小模板高斯运算实现快速滤波, 在保证滤波效果的前提下, 在配置为 1.6 G 的奔腾 4 处理器、512 Mb 内存的 PC 机上, 平均处理速率提高了 10 帧/s; 后者用近似区域填充算法或是水平放置的最小外

接矩形逼近边缘连通分支构成物体的大致区域, 这使得在线性时间内确定存在较大缺口的边缘连通分支所在的大致区域成为可能. 在不影响处理效果的前提下, 理论分析和实验结果均表明, 本文的近似算法相比精确算法可以大幅度地提高运算速度, 其解质量较高, 系统具有较好的实时性和较强的鲁棒性.

应当指出, 海上运动目标的检测与跟踪系统的应用受到一定天气条件的制约, 系统可以解决大部分天气条件下(晴朗、风较大、多雾)的感兴趣区域的分割, 而更为复杂的天气条件下(如台风、下雨), 对可见光成像的海上视频的平滑滤波还有待于进一步研究.

参考文献:

- [1] 任明武, 曹雨龙, 杨静宇, 等. 复杂条件下的船舶目标检测的图象预处理[J]. 计算机工程, 2000, 10: 68–70.
- [2] Cao Yulong, Yang Jingyu, Ren Mingwu, et al. Novel object detection method by probability velocity field[C]// Machine Vision Applications in Industrial Inspection VI-II. Bellingham, USA: SPIE, 2000: 309–314.
- [3] 赵亦工, 朱红. 自然背景中人造目标的自适应检测[J]. 电子学报, 1996, 24(4): 17–20.
- [4] Smith A A, Teal M K. Identification and tracking of maritime objects in near-infrared image sequences for collision avoidance[C]// 7th International Conference on Image Processing and Its Applications. Manchester, UK: Institution of Electrical Engineers, 1999: 250–254.
- [5] Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [6] Castleman K R. 数字图像处理[M]. 朱志刚, 林学钊, 石定机, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2002.

The Approximation Algorithms Applied to Maritime Region of Interest Segmentation

WU Qiying, LI Cuihua*

(Department of Computer Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: This paper introduces the approximation algorithms applied to the progress of region of interest segmentation of real-time moving maritime object detection and tracking system. Two parts of the system are analyzed mainly: 1. Visual attention architecture is imported to reduce the maritime noises and make the object distinct from the background by building pyramid structure and making low-pass inversed triangular filter of small mask iteratively; 2. The approximative region of the object is constructed by either filling the region approximatively or constructing the minimum external rectangle according to the embranchment of the connected edge. Those approximation algorithms not only enhance the speed but also guarantee the high approximation ratio. Many experimental results show that the algorithms produce satisfying results in various maritime video sequences.

Key words: region segmentation; noise removal; region filling; approximation algorithm