

基于注意机制的实时红外舰船检测

王岳环 曾南志

张天序

(华中科技大学图像识别与人工智能研究所, 武汉 430074) (图像处理与智能控制国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要 为了提高红外舰船图象检测的实时性, 提出了一种基于多分辨率注意机制的红外舰船图象检测方法, 该方法是利用注意机制来降低待处理数据量, 并将注意过程分为“预注意”和“注意”两个阶段, 同时采用非线性采样模型, 在降低预注意分辨率的同时, 使该方法能适应目标大小变化; 检测时, 将红外舰船图象中舰船发动机或烟囱所在的热区域作为“预注意”的特征, 先将注意引导到感兴趣区域上, 再在感兴趣区域内检测吃水线特征, 实验证明, 该方法能有效地提高红外舰船检测的效率, 并对目标大小变化有一定的适应能力。

关键词 计算机图象处理(520·6040) 注意机制 舰船检测 红外 实时计算

中图分类号: TP751.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)03-0241-05

Attention-based Real-time IR Ship Detection

WANG Yue-huan, ZENG Nan-zhi

(Institute for Pattern Recognition & Artificial Intelligence, Huazhong Univ. of Science & Technology, Wuhan Hubei 430074)

ZHANG Tian-xu

(State Key Laboratory for Image Processing and Intelligence Control, Wuhan Hubei 430074)

Abstract In order to improve the ability of real time computation, an attention-based IR ship detection is proposed to reduce the data to be processed and enhance the processing efficiency. The attention is divided into “pre-attention” and “attention”. A nonlinear sampling model is adopted to reduce the resolution in pre-attention while keeping adaptive to size variance of the target; the hot region which always refers to the engine or chimney of a ship is adopted as the guidance of attention to the areas of interest(AOI), then the waterline, which is taken as the less salient feature of infrared ship target, is detected in the AOI. If the waterline feature exists in an AOI, it means a target is detected; otherwise, the AOI is taken as false alarm. To test the performance of the approach proposed, an algorithm is designed and realized both on PC and on a multi-DSP's system. Experiments demonstrate that the approach proposed can enhance the detection efficiency, and it is adaptive to the size of target.

Keywords Attention mechanism, Ship detection, IR, Real-time computation

0 引言

在实时图象分析中, 需要将有限的计算资源集中于处理与当前任务密切相关的图象数据, 以提高系统的效率, 这种选择处理数据的能力是注意机制的重要组成部分. 根据注意的思想, 目标检测的任务分如下两步完成: 首先检测可能包含目标的区域(感兴趣区域, AOI), 即预注意; 然后通过分析判断区域中是否存在目标, 即注意. 这样, 通过 AOI 选择, 大量明显不包含目标的区域就能够在早期视觉阶段被

摒弃掉.

根据对生物注意机制的生理学和心理学研究成果, 现已提出了多种注意机制, 并在不同的领域得到了应用^[1~4], 但由于这些方法实时性较差, 也没有在红外目标检测方面的应用, 为此提出了一种基于离散非线性采样模型的注意机制, 并在实时红外舰船图象检测中得到了成功应用.

1 注意机制

由于计算资源的限制, 在视觉计算中, 依据场景

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(60135020)

收稿日期: 2001-07-30; 改回日期: 2002-06-06

重建的思想,对图象进行完整的描述是不可行的,因此,为保证视觉系统能实时处理变化中的场景,只能根据当前任务的需要,有目的、有选择地处理输入图象数据,而注意机制则可用于剔除与当前任务无关的图象信息,以将有限的计算资源集中于 AOI 的处理上.为便于讨论,针对红外目标检测,作如下定义:

定义 1 索引区域为相对于邻域具有足够大反差的区域.

定义 2 索引点为索引区域中心.

定义 3 注视点为非线性采样网格的中心.

定义 4 AOI 为邻近索引点的区域,其与索引点的关系由视觉任务决定.

在海面红外图象中,由于舰船最显著的特征是它的发动机或烟囱所在的热区域(图象中的亮区域),因此可将图象中的局部亮区域作为索引区域,然后在该区域中或邻近的区域寻找次显著特征,以便作出该索引区域是否属于舰船的判断.如果索引点属于舰船,那么 AOI 中,就应该存在吃水线,因为吃水线长度和位置与索引区域有一定的对应关系.

1.1 非线性采样网格

Yamamoto 采用了一种对数极坐标采样模型^[2].该模型中,采样节点的中心均匀分布在同心圆上,且节点面积随离心率线性增加,而节点环的离心率呈指数增长,且相邻节点重叠率固定.其主要理由是:(1)对数极坐标映射模型是旋转和尺度不变的;(2)它与神经物理学证据相符.

为了以软件方式来实现离散图象的二次采样,现提出离散非线性采样模型(见图 1).其采样网格分为 AOI 和外围区两部分,分别用于检测和预检测.

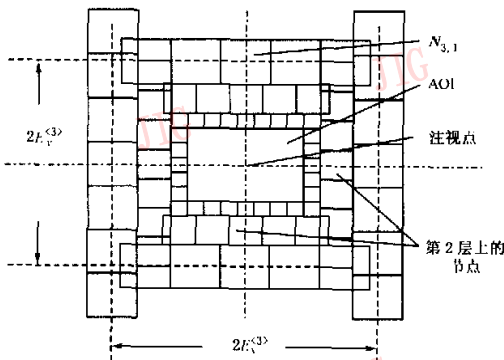


图 1 离散非线性采样模型

AOI 面积为 $aW \times \alpha H (0 < \alpha < 1)$, 其中, W 和 H

分别是图象的宽和高.这里 α 由注意中用到的视觉刺激决定,原则是使 AOI 能容纳所注意的全部目标信息.

采样节点 $N_{i,j}$ 的半径 r_i 为

$$r_i = \begin{cases} i & 1 < i < M \\ M & i \geq M \end{cases} \quad (1)$$

其中, i 是节点所在层的编号, j 是第 i 层上节点的编号, M 是最大采样半径.

节点 $N_{i,j}$ 在图象空间中覆盖面积为 $(2i+1) \times (2i+1)$ 的矩形区域.如果节点的中心不在图象空间内,则认为该节点是无效节点.

其中,每层采样节点中心均分布在一个矩形上,其边界和注视点的水平、垂直距离偏心率 (Eccentricity) 分别为

$$E_x^{(i)} = aW/2 + \sum_{j=0}^{i-1} (2j+1) \quad (2)$$

$$E_y^{(i)} = \alpha H/2 + \sum_{j=0}^{i-1} (2j+1)$$

第 i 层上采样节点的总数 n_i 为

$$n_i = 2n_x^{(i)} + 2n_y^{(i)} \quad (3)$$

其中,

$$n_x^{(i)} = \begin{cases} 4E_x^{(i)}/[(2i+1) \cdot o_r - 1] & \text{if } 2 \cdot E_y^{(i)} < H \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$n_y^{(i)} = \begin{cases} 4E_y^{(i)}/[(2i+1) \cdot o_r - 1] & \text{if } 2 \cdot E_x^{(i)} < W \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$0 \leq o_r \leq 1$, 为相邻节点的重叠系数.

1.2 局部响应

用图象局部平均灰度作为采样节点 $N_{i,j}$ 的响应函数 $R_{i,j}$ 为

$$R_{i,j} = \frac{1}{|S_{i,j}|} \iint_{S_{i,j}} I(x,y) dx dy \quad (4)$$

$S_{i,j}$ 是节点 $N_{i,j}$ 覆盖的区域, $I(x,y)$ 为输入图象.算子 $\| \cdot \|$ 表示返回输入对象的大小.

1.3 局部反差

定义与 $N_{i,j}$ 相邻的节点响应集为

$$R = \{R_{i',j'} \mid \|N_{i',j'} - N_{i,j}\| \leq r_i + r_{i'}, N_{i',j'} \in N\} \quad (5)$$

而节点 $N_{i,j}$ 的显著性 $C_{i,j}$ 则定义为

$$C_{i,j} = \max \left\{ \frac{R_{i,j}}{R_{i',j'} + R_{i,j}}, \frac{R_{i',j'}}{R_{i,j} + R_{i',j'}} \right\} \quad R_{i',j'} \in R \quad (6)$$

1.4 显著性图

显著性图的作用是在当采样网格中心位于图象中不同位置时,在生成的关于输入图象的显著性描述之间建立联系,同时通过显著性描述在显著性图中

的累积,使目标能尽快从背景中凸显出来,由此可见,显著性图是选择新的索引点的依据。

(m, n) 像素点的显著性 $w_{m,n}$ 为覆盖该像素点的采样节点显著性的均值,即

$$w_{m,n} = \text{mean}\{C_{i,j}\} \quad \forall (i,j), (m,n) \in S_{i,j} \quad (7)$$

当处理一帧图象时,一旦一个区域被选为 AOI,就不再参与后续的索引区域检测,即对 $C_{i,j}$,若 $N_{i,j}$ 的中心已经落入 AOI,则

$$C_{i,j} = 0, \text{且 } w_{m,n} = 0, \forall (m,n) \in S_{i,j} \quad (8)$$

否则

$$w_{m,n}^{(p)} = w_{m,n}^{(p-1)} + \text{mean}\{C_{i,j}\} \quad \forall (i,j), (m,n) \in S_{i,j} \quad (9)$$

即为前一次预检测得到的显著性与当前计算得到的像素显著性的累积。式中, p 为 AOI 检测的次数。

1.5 两步索引点转移

根据显著性图选择索引点和 AOI 只是预注意,而要完成目标检测的工作,还需要完成注意的处理过程。本文采用了两步扫描法来将索引点最终转移到目标上。

(1) 选显著性图中显著性最强的点为下一个索引点,即将 (m, n) 选为索引点当且仅当

$$w_{m,n} = \max\{W\} \quad (10)$$

(2) 根据注意的结果转移视点。

在这一步,可使用 Sobel 算子在索引点下方检测吃水线。若新索引点所在的采样节点为 $N_{i,j}$,仅当直线 L 满足

$$\begin{aligned} \|L\|^2 > \|N_{i,j}\| \text{ 且 } x_{N_{i,j}} \in L_x \text{ 且} \\ |y_L - y_{N_{i,j}}|^2 < 4\|N_{i,j}\| \end{aligned} \quad (11)$$

才认为 L 是舰船的吃水线。

其中, x_L, y_L 和 $x_{N_{i,j}}, y_{N_{i,j}}$ 分别是相应直线 L 或采样节点 $N_{i,j}$ 的横坐标和纵坐标。

这样,索引区域与吃水线一起就可决定舰船目标所在的区域。

2 注意机制在实时红外舰船检测中的应用

在实时舰船检测中,如果图象中存在舰船目标,就必须尽快检测到属于舰船的索引点。由于在一帧图象中检测到的目标,其在下一帧图象中可能处于不同的位置,而且已检测到的目标也可能从视场消失,而在前一帧图象中没有目标的位置上,又可能出现新的目标,所以,必须跟踪检测每一个目标,直到

它消失为止,同时还要监视其他的区域。

根据上述的注意机制,可以通过下面的算法来检测舰船:

- (1) 用非线性采样网格,对输入图象进行二次采样。
- (2) 生成显著性图。
- (3) 在当前 AOI 区域之外选择新的索引点。
- (4) 在进行步骤 1~3 的同时,分析 AOI 中的图象,以判断是否存在目标的次显著特征。本文是采用 Sobel 算子来检测吃水线。
- (5) 如果被检测区域有符合条件的次显著特征,这通常意味着在当前的 AOI 中存在目标,那么,此时应将视点转移到目标的中心上。如果没有次显著特征,则将视点转移到 AOI 外被检测到的索引点上。
- (6) 重复进行步骤 1~5,直到输入一帧新图象。

在多 DSP 系统^[7]上实现的注意机制算法结构如图 2 所示。

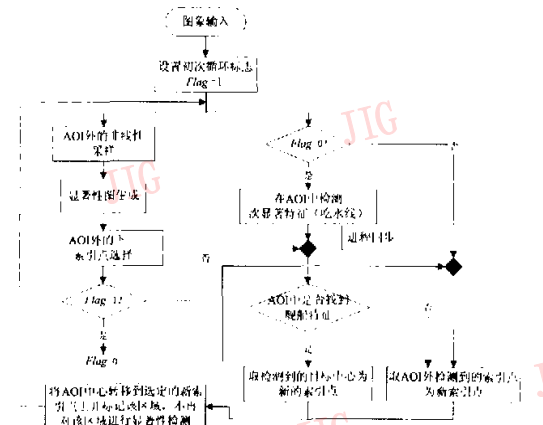


图 2 在多 DSP 系统上实现此方法时的算法结构

在检测中,只要检测到一个目标,就分配一个独立的 DSP 模块来跟踪它,直至其从视场中消失为止。

3 实验结果

为验证本文所提出的注意机制在红外舰船图象检测中应用的效率,用一组海面红外图象进行了实验。图 3(a)是大小为 200×196 pixels 的原始海面红外图象。图象中有两艘舰船,靠近观察者的地方还有一个较小的信标。图 3(b)为应用本文提出的非线性采样模型检测得到的所有索引点,图 3(c)为用 5×5 均匀采样模型检测得到的所有索引点。

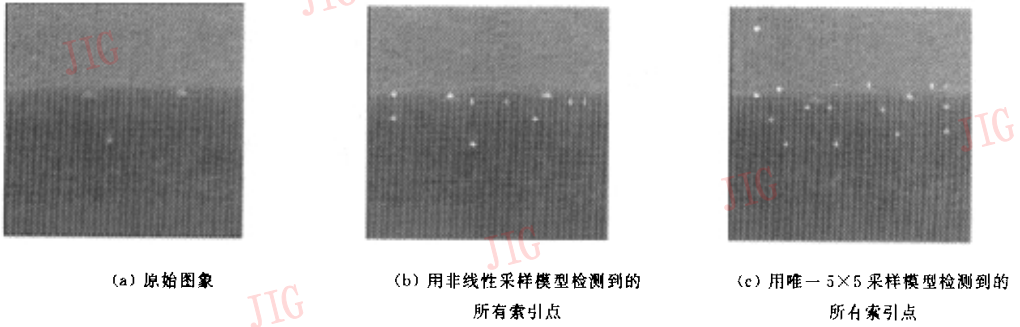


图3 用不同模型检测到的索引点

图4(a)中白色方框标记为在图1中检测到的目标,若只有十字标记,则表示其附近未找到次显著特征的索引点.实验中, $\alpha=16$.在最初的两次AOI检测中,检测到两艘舰船,在第5次AOI检测中,检测到假目标——信标.

图4(b)是用动态多分辨率注意机制^[1]经过30次迭代后(即30次AOI检测)找到的全部索引点.在本实验中,该方法生成局部反差特征的随机震荡次数定为20,其找到的索引点虽比用本文方法找到的索引点更靠近实际边界,但通过使用两步扫视法,本文方法也能得到精确的目标位置,而且若随机振荡次数为 n ,则使用动态多分辨率注意机制的计算量至少是本文方法的 n 倍,其计算量远大于本文方法.

图5(a)是大小为 688×490 pixels的原始红外图象,其中包含多个大小不同的目标.在该图象中,应用本文提出的方法,进行红外舰船检测直至所有目标均检测到为止,图5(b)给出了应用注意机制的检测结果,其中大白色方框表示选择的AOI,十字

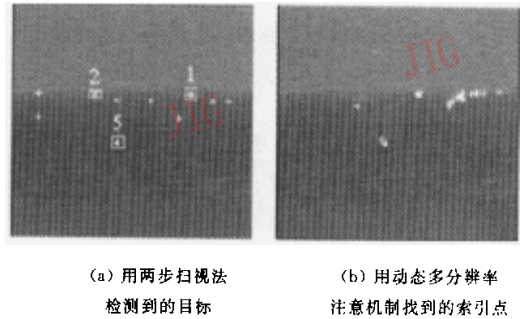


图4 本文方法检测结果

又为其对应的注视点,注视点外的小白色方框表示检测到的舰船目标.检测结果显示,只在第4和第6次AOI检测中,生成了不属于目标的索引点,对应的AOI中虽包含舰船的显著特征——局部反差特征,但不包含次显著特征——吃水线特征.

通过上述的实验结果可以看出,本文的方法不仅能够有限时间内,将注意力引向舰船,进而在有限的AOI内,检测到吃水线和舰船,而且此方法对目标大小不敏感.

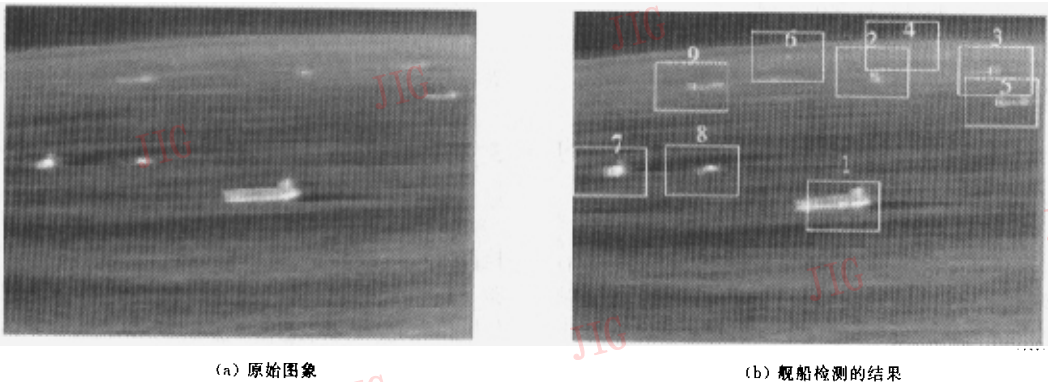


图5 应用注意机制的检测结果

在自行开发的基于 ADSP21060 的多 DSP 系统^[7]上,对该方法进行了实验,以验证其实时性,结果见表 1。

表 1 计算周期(输入图象大小 128×128)

	单位:ms	
	单个 ADSP21060	3 个 ADSP21060 系统
文献[8]的方法	41.4	25
本文的方法	12	

由表 1 可见,本文的方法能够在极短的周期内检测到所有的舰船目标。尽管增加 DSP 个数可以提高计算速度,但 DSP 间的通信开销及共享资源的管理都降低了系统性能。相比之下,应用注意机制的舰船检测方法能够获得更好的实时性。

4 结 论

多 DSP 系统的实验证明,基于离散非线性采样注意机制的实时红外舰船检测方法能有效地提高红外舰船目标检测的效率。初步试验表明,该注意机制在斑状小目标检测中也有较好的应用效果。另外,在进一步的工作中,希望能从理论上验证该方法的低虚警率,以保证方法应用的可靠性。

参 考 文 献

- 1 Takacs B, Wechsler H. A dynamic and multiresolution model of visual attention and its application to facial landmark detection [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1998, 70(1): 63~73.
- 2 Yamamoto H, Yeshurun Y, Levine M D. An active foveated vision system: attention mechanism and scan path convergence measures [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1996, 68(1): 50~65.
- 3 Burt P J. Attention mechanisms for vision in a dynamic world [A]. In: *proc. 11th Int. Conf. Pattern Recognition[C]*. Rome, Italy, 1998: 977~987.

- 4 Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. *IEEE Trans. PAMI*, 1998, 20(11): 1254~1259.
- 5 Gallier O, Gaussier P, Cocquerz J P. A model of the visual attention to speed up image analysis[A]. In: *proc. of Int. Conf. Image Processing[C]*. Chicago, Illinois, USA, 1998: 246~250.
- 6 Freese R L, Nel A L. Focus of attention in image understanding systems [A]. In: *proc. of 1993 IEEE South African Symp. Communications and Signal Processing[C]*. Jan Smuts Airport, South Africa, USA, 1993: 80~84.
- 7 王岳环,汪国有,张天序.一种模块化多 DSP 实时图像处理系统[J]. *华中理工大学学报*, 2000, 28(3): 63~64.
- 8 Moon Y S, Zhang Tianxu, Zuo Zhengrong *et al.* Detection of sea surface small targets in infrared images based on multilevel filter and minimum risk bayes test [J]. *Int. J. of Pattern Recognition & Artif. Intell.*, 2000, 14(7): 907~918.



王岳环 1972年生,2001年获华中科技大学图象识别与人工智能研究所工学博士学位,现为华中科技大学图象识别与人工智能研究所副教授。主要研究领域是图象分析、计算机主动视觉、精确制导技术、高性能 DSP 系统、智能仪器等。



曹南志 1977年生,2000年获中国煤炭经济学院经济信息管理系经济学学士学位,现为华中科技大学图象识别与人工智能研究所硕士研究生。主要研究领域是图象分析、计算机视觉等。



张天序 1947年生,1991年获浙江大学生物医学工程系博士学位。现为华中科技大学图象识别与人工智能研究所所长,教授,博士生导师。主要研究领域是精确制导智能化信息处理、自动目标识别、星上图象信息处理、计算机视觉、图象数据压缩、图象并行处理算法等。已发表论文 100 余篇。