

静态图像中的感兴趣区域检测技术

张鹏 王润生

(国防科学技术大学 ATR 国家重点实验室, 长沙 410073)

摘要 感兴趣区域(ROI)检测将人类的视觉注意机制引入到图像分析过程中,对于提高现有图像分析系统的工作效率有着积极的作用。本文对当前静态图像中的 ROI 检测技术进行了评述。在分析了 ROI 检测的产生背景之后,首先介绍了人类的视觉注意机制,随之从自底向上和自顶向下两个方面详细讨论了当前较具代表性的 ROI 检测算法,然后列举了一些主要的 ROI 应用方向,最后对 ROI 检测技术的发展前景进行了展望。

关键词 图像分析 感兴趣区域 视觉注意 注意焦点

中图分类号: TP391.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)02-0142-07

A Survey of Detecting Regions of Interest in a Static Image

ZHANG Peng, WANG Run-sheng

(ATR National Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha, 410073)

Abstract The detection of regions of interest (ROI) introduces visual attention mechanism from the human vision to the image analysis. It is significant to improve the efficiency of the existing image analysis system. In this paper, the current technique for detecting ROI in a static image is surveyed. After the background of ROI detection is introduced, the mechanism of visual attention in human visual system is addressed firstly. And then the main algorithms of ROI detection are classified into two categories including bottom-up method and top-down method. Each of them is discussed in detail respectively. The primary applications of ROI are described afterward. At the end, several research trends of ROI detection are given.

Keywords image analysis, region of interest, visual attention, focus of attention

1 引言

当前,随着信息技术的发展,图像逐渐成为主要的信息载体,面对与日俱增的庞大数据,人工图像分析已经显得力不从心,计算机图像分析正在成为人们关注的焦点。在该领域的探索中,一些研究者注意到:图像分析任务所关心的内容通常仅占图像中很小一部分,因此,有必要将不同的处理优先级赋予不同的图像区域,这样不但可以降低分析过程的复杂度,而且能够减少不必要的计算浪费。

这些研究者还注意到,人类视觉系统(human visual system,简称HVS)正是这样处理感知信息的。面对一个复杂场景,HVS能够迅速将注意力集中在

少数几个显著的视觉对象上,对其进行优先处理,该过程被称为视觉注意,显著的视觉对象被称为注意焦点(focus of attention,简称FOA)。在该机制的帮助下,HVS对有限的信息加工资源进行了合理分配,使视觉感知过程具备了选择能力。

显然,将HVS中的视觉注意机制引入到计算机图像分析过程中是非常必要的,它可以提供容易引起观察者注意的图像区域信息,帮助制定合理的计算资源分配方案,从而极大地提高现有图像分析系统的工作效率。感兴趣区域(region of interest,简称ROI)检测正是在这种思想的基础上提出并发展起来的。在不同的研究和应用领域中,对该区域的称谓也有所区别,可以是显著区域、重要区域、有意义区域等,也可以直接称之为FOA。它们虽然在表现形式上有所区

收稿日期:2004-05-13; 改回日期:2004-07-12

第一作者简介:张鹏(1974~),男,1997年于国防科技大学电子科学与工程学院获微波专业学士学位。现为国防科技大学电子科学与工程学院 ATR 国家重点实验室博士研究生。主要研究方向为图像分析理解与信息融合。E-mail:zp80272@yahoo.com.cn

别,但是在基本设计思想上都是一致的。

2 视觉注意

图1给出了两个视觉注意的例子。首先,在没有任何任务提示下观察这两幅图像,图1(a)中的圆盘和图1(b)中的圆环能够迅速引起观察者的注意,然后,在“寻找圆盘”的任务提示下,再次观察这两幅图像,观察者又会很快将注意力集中在图1(a)和图1(b)中的圆盘上。这种选择过程就是视觉注意,被选中的视觉对象就是FOA。

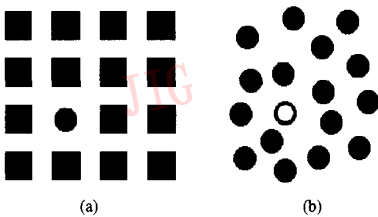


图1 视觉注意示例

Fig. 1 Example of visual attention

心理学研究发现,在静态场景中,那些能够产生新异的刺激、较强的刺激和人所期待的刺激的视觉对象容易引起观察者的注意^[1,2]。据此,可以将视觉注意划分为两种类型^[3]:一种是第1次观察图1时由数据驱动、独立于任务的自底向上的视觉注意(bottom-up attention);另一种是第2次观察图1时受意识支配、依赖于任务的自顶向下的视觉注意(top-down attention)。在这两种视觉注意中,FOA的选择具有以下特点^[3]:

- (1) 单焦点(single focus):同一时刻只能存在一个FOA;
- (2) 缩放性(zoom lens):FOA的空间范围可以扩大或缩小;
- (3) 焦点转移(refocus):FOA能够由一个位置向另一个位置转移;
- (4) 邻域优先(proximity):FOA转移时倾向于选择与当前注视内容接近的位置;
- (5) 返回抑制(inhibition of return):FOA转移时抑制返回最近被选择过的注视内容。

针对视觉注意的作用过程,认知心理学提出了许多假设,较具有代表性的有^[1,2]:Broadbent的过滤器模型(filter model);Kahneman的能量分配模型;Schneider和Shiffrin的控制加工和自动加工理论

(binary theory);Treisman和Gelade的特征整合理论(feature integration theory)、Treisman的聚光灯假设(spotlight metaphor)等。

3 ROI检测算法

近年来,国内外研究者提出了许多ROI检测算法,既有与任务无关的自底向上的算法,也有与任务相关的自顶向下的算法。其中,前者是ROI检测研究的核心,也是本节的讨论重点,后者可以结合具体任务对前者进行相应调整后实现。

3.1 自底向上的ROI检测算法

通过对众多相关算法的分析,将自底向上的ROI检测过程划分为3个阶段:

- (1) 候选区域的划分 从图像中划分出可能成为ROI的候选区域;
- (2) 显著性特征的提取 在注意前期(pre-attention stage)提取候选区域的显著性特征;
- (3) ROI的选择与转移 在注意期(attention stage)依次选择一组候选区域作为ROI。

3.1.1 候选区域的划分

在划分候选区域时,最直接的方法是图像分割。如通过图像分割得到候选区域,进而从中选择ROI^[4-6]。

图像分割虽然能够很好地解决区域划分问题,但是从图像分析角度看,它的计算量太大,偏离了ROI检测的初衷;从视觉感知角度来看,注意前期的视感觉还停留在像素级,基素级的区域分布信息尚未形成。因此,大多数研究者^[7-9]都避开图像分割,在各个像素处设置多个不同尺寸和形状的邻域,将这些像素邻域作为ROI候选区域。另外还引入了多尺度技术,在多个尺度层中设置这些像素邻域^[10-12]。

3.1.2 显著性特征的提取

如何选择和提取一组能够准确衡量候选区域视觉显著性的图像特征是整个ROI检测过程中的核心环节。目前的方法大致可以划分为以下3种类型。

第1类方法从候选区域内部提取显著性特征。这类方法认为视觉显著性的产生是由于视觉对象本身具有某种能够引起观察者注意的特殊属性。例如:Reisfeld^[7]将像素邻域的对称性作为其显著性特征,并通过基于梯度信息的离散对称性变换描述该邻域的对称性;Gesu^[13]在Reisfeld的研究基础上,通

过离散对称性变换 (DST) 和离散矩变换 (DMT) 的结合描述像元邻域的显著性; Kadir^[8] 将像元邻域的复杂性 (complexity) 作为其显著性特征, 并通过该邻域的灰度直方图的熵描述其复杂性; Dimai^[14] 将像元邻域的不一致性作为其显著性特征, 并通过 Gabor 滤波描述该邻域在亮度、颜色和纹理上的一致性。可以将这些基于候选区域内部属性的特征称为自显著 (self saliency) 特征。

第 2 类方法从候选区域与外界的比较中提取显著性特征。这类方法认为视觉显著性的产生是由于视觉对象与外界通过某种对比形成了能够引起观察者注意的新异刺激。在这些研究者中, 有人用候选区域与周边区域比较产生的差异值或差异矢量来描述显著性, 例如: Wai^[9] 通过 DOG 算子比较候选区域与周边区域的灰度差异; Milanese^[15] 通过 LOG 算子比较候选区域与周边区域在灰度、梯度强度、梯度方向和曲率上的差异; Itti^[10,16] 通过中心-周边 (center-surround) 算子比较候选区域与周边区域在亮度、颜色和方向这些早期视觉特征上的差异。有人用候选区域与整幅图像比较产生的差异值或差异矢量来描述显著性, 例如: Bourque^[17] 比较候选区域与整幅图像的边缘密度差异; Stentiford^[18] 通过进化规划 (evolutionary programming) 比较候选区域与图像中其他区域的形态差异; Walker^[19] 认为显著区域是那些被错分为其他区域的概率较低的区域, 他将所有候选区域映射至一个特征空间, 通过每个候选区域所对应的空间密度描述其显著性。还有人用候选区域与记忆内容比较产生的差异值或差异矢量来描述显著性, 例如: Grossberg^[20] 的自适应共鸣理论 (adaptive resonance theory) 认为视觉对象与已学习

特征之间的共鸣是形成视觉注意的原因, 他通过候选区域与记忆模板库的匹配程度描述其显著性。可以将这些基于候选区域与外界属性差异的特征称为互显著 (relative saliency) 特征。

第 3 类方法从候选区域内部和外部提取显著性特征。这类方法将上述的自显著特征和互显著特征结合起来作为候选区域的显著性特征。例如: Osberger^[4] 通过尺寸、形状、方位这些自显著特征和对比度、前景/背景这些互显著特征描述分割区域的显著性; Luo^[5] 通过分割区域在颜色、纹理、形状上的多种自显著特征和互显著特征描述其显著性; Privitera^[21] 通过对称性、方向、边缘和对比度等 10 种特征描述像元邻域的显著性。

3.1.3 ROI 的选择与转移

如何根据候选区域的显著性特征找到 ROI 是 ROI 选择与转移阶段的主要任务。在图像压缩等应用领域, 研究者仅仅关心图像中哪些区域是 ROI, 此时只需解决 ROI 的选择问题; 而在主动视觉等应用领域, 研究者不但关心哪些区域是 ROI, 而且关心这些 ROI 的出现顺序, 此时需要解决 ROI 的选择与转移问题。可以将目前的方法划分为 3 种类型。

第 1 类方法是门限法。在那些仅用一种特征来描述候选区域显著性的算法中, 研究者通常采用这种方法得到 ROI。例如: Wai^[9] 根据显著度的最大值确定门限, 将大于该门限的候选区域作为 ROI; Bourque^[17] 选择显著度最大的无重叠的 K 个候选区域作为 ROI; Kadir^[8] 首先通过门限得到一组显著区域, 然后对其聚类得到 ROI。Reisfeld、Stentiford 和 Walker^[7,18,19] 等人也都是采用类似的方法选择 ROI 的。这些算法的部分检测结果如图 2 所示。



图 2 针对单特征的门限法检测结果

Fig. 2 Result of the threshold method using multiple features

第 2 类方法是整合法。在那些使用多种特征来描述候选区域显著性的算法中, 研究者通常采用这种方法通过数据合并得到 ROI。一些人先将各种显著

度信息整合为显著图 (saliency map), 再通过它寻找 ROI。例如: Itti^[10,16] 先通过尺度整合和特征整合将多尺度像元邻域的多种显著性特征合并为一幅灰度显

显著图,再据此通过胜者全取(winner-take-all,简称WTA)和返回抑制机制依次得到一组显著度逐渐下降的ROI,他还对多种整合方法进行了分析和比较^[22];Dimai^[14]也是先通过尺度整合和特征整合得到一幅灰度显著图,再据此通过区域生长方法实现ROI的选择与转移;Milanese^[15]先使用松弛迭代法将各种显著度信息整合为一幅包含有限凸区域的二值

显著图,再据此直接得到ROI。另一些人则先找到各个显著性特征对应的显著区域,再将它们整合为ROI。例如:Gesu^[13]先通过门限法得到DST和DMT对应的显著区域,再通过并行或串行方法将它们整合为ROI;Privitera^[21]先通过局部极值点聚类得到各个显著性特征对应的显著区域,再继续对这些显著区域聚类得到ROI。这些算法的部分检测结果如图3所示。

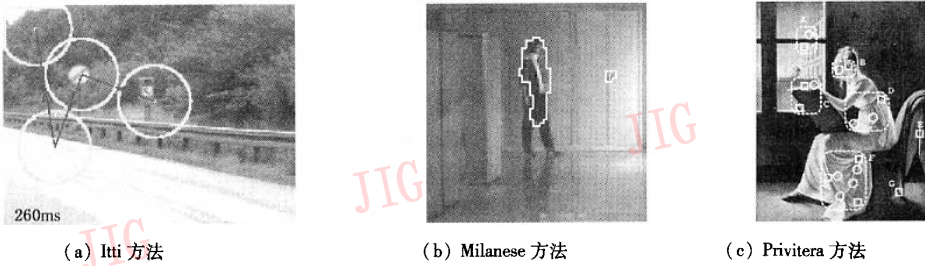


图 3 针对多特征的整合法检测结果

Fig. 3 Result of the integration method using single feature

第3类方法是层次法。它针对上述两种方法一次性提取各个候选区域的一种或多种显著性特征,再通过这些数据搜索ROI中工作量较大的问题,借鉴HVS中的串行化信息加工机制,采用层次处理逐渐缩小ROI的搜索范围,直至最后得到ROI。例如:Culhane^[11]提出了一个由多尺度处理层和贯穿其中

的注意束(attention beam)组成的检测模型,注意束沿着尺度递减的方向依次通过各层中的最显著区域,最后得到较为精细的ROI,ROI的转移则通过返回抑制实现,检测中使用了亮度和边缘这两种显著性特征。该算法的检测过程与结果如图4所示。

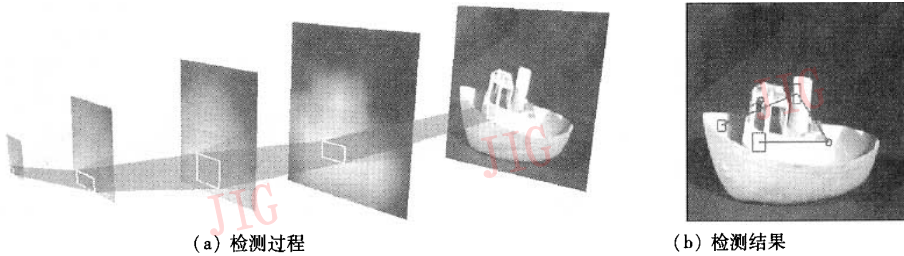


图 4 Culhane 的层次法检测过程与结果

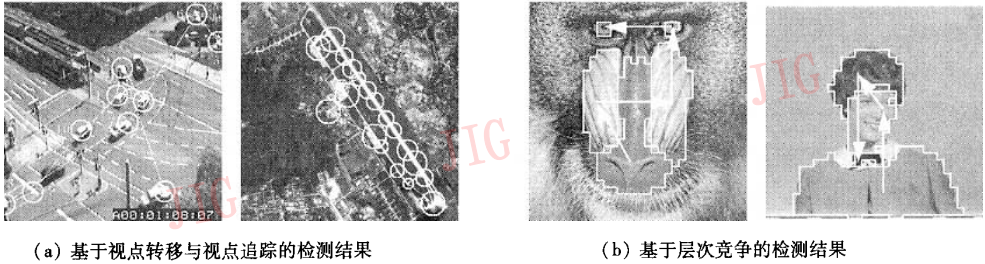
Fig. 4 Result of the hierarchy method of Culhane

我们在研究中也采用了这种层次处理方法,相继提出了基于视点转移与视点追踪的显著区域检测算法^[23]和基于层次竞争的FOA检测模型^[24]。前者首先通过视点转移,利用全局显著性度量找到显著区域的位置,然后通过视区追踪,利用局部显著性度量确定显著区域的尺寸,并通过它们的循环交替依次得到一系列显著区域;后者采用依次进行的尺度、特征和方位竞争逐渐搜索FOA的基本属性,利用区域生长简单描述FOA的大致轮廓,并通过上述过程的循环往复逐一获得图像中的各个FOA。这两种算法的部分检测结果如图5所示。

3.2 自顶向下的ROI检测算法

对于自顶向下的ROI检测,研究者通常在由具体任务得到的ROI模型的指导下,对自底向上的ROI检测过程进行相应调整后实现。ROI模型所指导和调整的对象可以是候选区域的尺度、方位、尺寸和形状,也可以是显著性特征的数目、类型和描述形式,还可以是ROI选择与转移过程中的门限值、整合参数等。ROI模型的建立通常采用两种方法。

第1种方法是根据检测任务人工建立ROI模型。例如:Lee、Canny和Burns^[24-26]等人对角点、边缘和直线的提取实际上就是一种ROI检测过程,这



(a) 基于视点转移与视点追踪的检测结果

(b) 基于层次竞争的检测结果

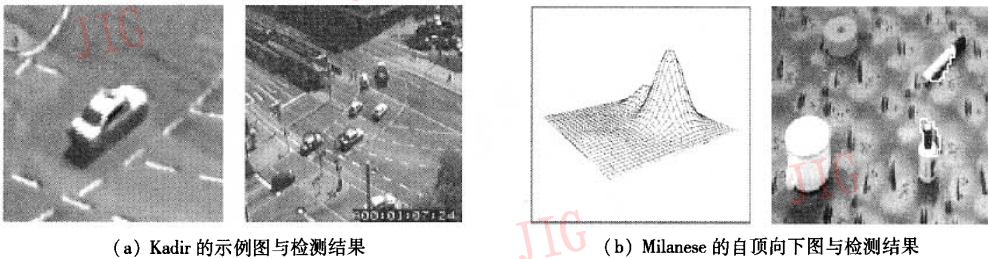
图 5 改进的层次法检测结果

Fig. 5 Result of the modified hierarchy method

里,角点、边缘和直线是设计者根据具体任务人工建立的 ROI 模型,提取得到的特征基元就是 ROI; Driscoll^[27]将指定的目标特征矢量作为 ROI 模型,对于每个候选区域,将它与周边区域的偏离度作为正激励,将它的周边区域与目标的吻合度作为负激励,用正负激励和描述其显著性,通过一个基于层次处理的 FeatureGate 模型得到 ROI。

第 2 种方法是根据任务示例或样本自动建立 ROI 模型。例如:Kadir^[8]首先用自底向上的算法在示例图中找到一个显著区域集(constellation),通过它建立 ROI 模型,然后再用自底向上的算法处理检

测图,选择显著度与模型较为接近的候选区域作为 ROI;Itti^[10,16,22]在自底向上算法的基础上,通过对一组训练样本的监督学习,调整数据整合过程中的加权系数,从而实现自顶向下的 ROI 检测;Milanese^[15]利用分布联合存储(distributed associative memories,简称 DAM)技术对一组训练样本进行学习,在 ROI 检测中通过 DAM 得到一幅自顶向下图(top-down map),将其与自底向上的显著度信息一起整合为显著图,进而得到 ROI。这些算法的部分检测结果如图 6 所示。



(a) Kadir 的示例图与检测结果

(b) Milanese 的自顶向下图与检测结果

图 6 自顶向下的 ROI 检测结果

Fig. 6 Result of the top-down ROI detection

4 ROI 的应用

ROI 将视觉注意引入图像分析,赋予现有分析过程一定的选择能力,这使它众多图像分析任务都具有应用价值,其中较为突出的几个应用方向如下:

(1) 图像压缩与编码 这是当前最为活跃的 ROI 应用研究方向,基本思想是在图像压缩时对 ROI 进行无损或近无损压缩,对其他区域进行有损压缩,从而即保持了较好的图像质量,又获得了较高的压缩比。该技术已经被 JPEG2000 标准所采用,相关研究参见文献[28]~[30]等。

(2) 图像检索 基本思想是利用 ROI 的视觉属性和空间分布描述图像内容,通过 ROI 之间的相似性,度量图像之间的相似性,从而克服与图像内容不相关的区域(如:背景区)对检索过程产生的影响。相关研究参见文献[14]、[31]、[32]等。

(3) 场景渲染 基本思想是在渲染过程中赋予 ROI 与其他区域不同的渲染终止条件,从而在保证渲染结果能够被观察者接受的情况下,最大限度地降低渲染计算量。相关研究参见文献[33]~[35]等。

(4) 目标检测 基本思想是直接利用自顶向下的 ROI 检测过程,先根据目标低层属性建立 ROI 模型并检测 ROI,再根据目标高层属性对检测结果进行证实。相关研究参见文献[8]~[10]、[16]等。

(5) 目标识别 基本思想是依次识别目标中一组显著性逐渐下降的 ROI,并据此不断调整对整个目标的推断,直至推断成立,从而避免了由目标中的非区域信息引起的识别效率下降。相关研究参见文献[36]~[38]等。

(6) 主动视觉 基本思想是通过模拟视觉注意的 ROI 检测,使计算机具有类似于人类的视觉机能,这是机器人等领域中非常关心的一个问题。相关研究参见文献[39]~[41]等。

除了在图像分析领域的应用之外,ROI 检测还被心理学研究者拿来作为研究人类视觉注意的手段,许多心理学假设可以通过该模拟过程获得验证。例如:文献[3]、[11]、[20]都采用了这种研究方法。

5 前景展望

注意是人类认知过程的引导者,在整个信息加工体系中发挥着极其重要的作用,同时,它的复杂性也使得研究者们至今仍然无法清楚地获悉其内部运行机理。ROI 检测将视觉注意引入计算机图像分析,其必要性和重要性是不言而喻的,但是,对视觉注意的研究现状也成为影响该技术发展的最主要因素。可以预见,在以后的探索中,ROI 检测和视觉注意这两个位于不同领域的研究对象将形成更加紧密的关系,一方面 ROI 检测从视觉注意中获得指导;另一方面视觉注意用 ROI 检测验证假设。

ROI 检测技术目前还不够完善,然而,众多领域却已经对 ROI 提出了强烈的应用需求。这种研究与需求之间的矛盾将会对 ROI 检测技术以后的发展产生强大的推动力。该技术的发展一方面来自内部。目前,无论是显著性特征的选择与提取、ROI 的选择与转移,还是自顶向下的 ROI 模型对检测过程的引导,都还与 HVS 中相对应的视觉加工过程存在较大差异,这给研究者们提供了较大的突破空间。另一方面,外部因素也会推动技术的发展。ROI 检测与机器学习、神经计算和模式识别等众多热点领域的研究都有着密切的联系,这些领域的进展将对 ROI 检测研究提供有力的支持。

本文仅仅讨论了静态图像中的 ROI 检测技术,这里的 ROI 特指 2 维平面区域。而实际上,ROI 检测的思想和过程是可以向其他低维或高维空间扩展的。例如:将 ROI 引入音频分析,检测听众感兴趣的声音片段;将 ROI 引入视频分析,检测观众感兴趣

的镜头;甚至可以将 ROI 引入高维数据分析(数据挖掘),检测显著的或重要的数据子集。这种扩展为 ROI 检测技术的研究勾画出了更加美好的发展前景。

参考文献 (Reference)

- 1 Wang S, Wang A S. Cognitive psychology [M]. Beijing: Beijing University Press, 1992. [王甦, 汪安圣. 认知心理学 [M], 北京: 北京大学出版社, 1992.]
- 2 Shen Z, Lin S Z. Physiological psychology [M]. Beijing: Beijing University Press, 1993. [沈政, 林庶芝. 生理心理学 [M], 北京: 北京大学出版社, 1993.]
- 3 Koch C, Ullman S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry [J]. Human Neurobiology, 1985, 4(4): 219 ~ 227.
- 4 Osberger W, Bergmann N W, Maeder A J. An automatic image quality assessment technique incorporating higher level perceptual factors [A]. In: Proceedings of the International Conference on Image Processing [C], Chicago, USA, 1998: 414 ~ 418.
- 5 Luo J, Singhal A. On measuring low-level saliency in photographic images [A]. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], South Carolina, USA, 2000: 1084 ~ 1089.
- 6 Chernyak D A, Stark L W. Top-down guided eye movements [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B: Cybernetics, 2001, 31(4): 514 ~ 522.
- 7 Reisfeld D. Constrained phase congruency: simultaneous detection of interest points and of their scales [A]. In: Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition [C], San Francisco, USA, 1996: 562 ~ 567.
- 8 Kadir T, Brady M. Saliency, scale and image description [J]. International Journal of Computer Vision, 2001, 45(2): 83 ~ 105.
- 9 Wai W Y K, Tsotsos J K. Directing attention to onset and offset of image events for eye-head movement control [A]. In: Proceedings of the International Association for Pattern Recognition [C], Washington, USA, 1994, A: 274 ~ 279.
- 10 Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254 ~ 1259.
- 11 Culhane S M, Tsotsos J K. An attentional prototype for early vision [A]. In: Proceedings of the Second European Conference on Computer Vision [C], Berlin, Germany, 1992: 551 ~ 560.
- 12 Jägersand M. Saliency maps and attention selection in scale and spatial coordinates: an information theoretic approach [A]. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Computer Vision [C], Boston, USA, 1995: 195 ~ 202.
- 13 Gesu V Di, Valenti C, Strinati L. Local operators to detect regions of interest [J]. Pattern Recognition Letters, 1997, 18(11): 177 ~ 181.
- 14 Dimai A. Assessment of effectiveness of content based image retrieval

- systems[A]. In: Proceedings of the Third International Conference on Visual Information Systems[C], Amsterdam, Netherlands, 1999: 525 ~ 532.
- 15 Milanese R, Bost J M, Pun T. A bottom-up attention system for active vision[A]. In: Proceedings of the 10th European Conference on Artificial Intelligence[C], Vienna, Austria, 1992: 808 ~ 810.
- 16 Itti L, Koch C. Computational modeling of visual attention [J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2001, 2(3): 194 ~ 230.
- 17 Bourque E, Dudek G, Ciaravola P. Robotic sightseeing: a method for automatically creating virtual environments[A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation[C], Leuven, Belgium, 1998: 3186 ~ 3191.
- 18 Stentford F W M. An evolutionary programming approach to the simulation of visual attention[A]. In: Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation[C], Seoul, Korea, 2001: 851 ~ 858.
- 19 Walker K N, Coates T F, Taylor C J. Locating salient object features [A]. In: Proceedings of the British Machine Vision Conference[C], Southampton, UK, 1998: 557 ~ 566.
- 20 Grossberg S. The link between brains, learning, attention, and consciousness [J]. *Consciousness & Cognition*, 1999, 8(1): 1 ~ 44.
- 21 Privitera C M, Stark L W. Algorithms for defining visual regions-of-interest: comparison with eye fixations [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(9): 970 ~ 982.
- 22 Itti L, Koch C. Feature combination strategies for saliency-based visual attention systems [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2001, 10(1): 161 ~ 169.
- 23 Zhang P, Wang R S. Detecting salient regions based on location shift and extent trace[J]. *Journal of Software*, 2004, 15(6): 891 ~ 898. [张鹏, 王润生. 基于视点转移和视区追踪的图像显著区域检测[J]. *软件学报*, 2004, 15(6): 891 ~ 898.]
- 24 Lee J S, Sun Y N, Chen C H. Multiscale corner detection by using wavelet transform [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, 4(1): 100 ~ 104.
- 25 Canny J F. A computational approach to edge detection [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, 8(6): 679 ~ 698.
- 26 Burns J B, Hanson A, Riseman E. Extracting straight lines [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, 8(4): 425 ~ 455.
- 27 Driscoll J A, Peters R A, Cave K R. A visual attention network for a humanoid robot [A]. In: Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems [C], Victoria, Canada, 1998: 12 ~ 16.
- 28 Christopoulos C, Askelöf J, Larsson M. Efficient methods for encoding regions of interest in the upcoming JPEG2000 still image coding standard [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2000, 7(9): 247 ~ 249.
- 29 Liu L, Fan G. A new JPEG2000 region-of-interest image coding method: partial significant bitplanes shift [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2003, 10(2): 35 ~ 39.
- 30 Wang Z, Bovik A C. Bitplane-by-bitplane shift (BbBShift)—a suggestion for JPEG2000 region of interest image coding [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2002, 9(5): 160 ~ 162.
- 31 Stejic Z, Takama Y, Hirota K. Relevance feedback-based image retrieval interface incorporating region and feature saliency patterns as visualizable image similarity criteria [J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2003, 50(5): 839 ~ 852.
- 32 Vu K, Hua K A, Tavanapong W. Image retrieval based on regions of interest[J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2003, 15(4): 1045 ~ 1049.
- 33 Yee H, Pattanaik S N, Greenberg D P. Spatiotemporal sensitivity and visual attention for efficient rendering of dynamic environments[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2001, 20(1): 39 ~ 65.
- 34 Horvitz E, Lengyel J. Perception, attention, and resources: a decision-theoretic approach to graphics rendering [A]. In: Proceedings of the Thirteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence [C], Rhode Island, USA, 1997: 238 ~ 249.
- 35 Myskowski K, Rokita P, Tawara T. Perceptually-informed accelerated rendering of high quality walkthrough sequences[A]. In: Proceedings of the Tenth Eurographics Workshop on Rendering[C], Grenada, Spain, 1999: 5 ~ 18.
- 36 Salah A A, Alpaydin E, Akarun L. A selective attention-based method for visual pattern recognition with application to handwritten digit recognition and face recognition [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(3): 420 ~ 425.
- 37 Dickinson S J, Christensen H I, Tsotsos J K, *et al.* Active object recognition integrating attention and viewpoint control [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1997, 67(3): 239 ~ 260.
- 38 Soyer C, Bozma H I, Bistefanopoulos Y. Attentional sequence-based recognition: markovian and evidential reasoning [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, 2003, 33(6): 937 ~ 950.
- 39 Breazeal C, Edsinger A, Fitzpatrick P, *et al.* Social constraints on animate vision [J]. *IEEE Intelligent Systems*, 2000, 15(1): 32 ~ 37.
- 40 Indiyeri G. Modeling selective attention using a neuromorphic analog VLSI device [J]. *Neural Computation*, 2001, 12(12): 2857 ~ 2880.
- 41 Backer G, Mertsching B, Bollmann M. Data and model driven gaze control for an active-vision system [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, 23(12): 1415 ~ 1429.