

分 类 号：TP391.41

单位代码：10422

密 级：

学 号：200311202

山东大学

硕 士 学 位 论 文

论文题目：图像边缘检测算法的研究

作 者 姓 名 张 晶

专 业 信号与信息处理

指导教师姓名

专业技术职务 王欣 教授

2006 年 4 月 6 日

目 录

中文摘要	1
ABSTRACT.....	3
符号说明	6
第一章 绪论	7
1.1 课题的研究背景及意义	7
1.2 课题的发展现状	8
1.3 本文安排	12
第二章 经典的边缘检测方法	14
2.1 基于梯度的边缘检测算子	14
2.1.1 Roberts 算子	15
2.1.2 Prewitt 算子	15
2.1.3 Sobel 算子	16
2.1.4 方向算子	16
2.2 拉普拉斯算子	16
2.3 LoG 算子	17
2.4 Canny 算子	18
2.5 沈俊边缘检测方法	22
2.6 曲面拟合法	22
2.7 几种经典边缘检测方法的检测结果	23
2.7.1 对 Lena 图像的边缘检测结果	24
2.7.2 对 Lena 加噪图像的边缘检测结果	24
2.7.3 结果比较	27
第三章 BP 神经网络	28
3.1 BP 神经网络的结构	28
3.2 BP 神经网络的数学模型	29
第四章 一种新的基于统计向量和 BP 神经网络的边缘检测方法	32
4.1 构造统计向量	32

4.1.1 描述边缘特征的统计量	32
4.1.2 构造图像的统计向量	33
4.2 基于统计向量和 BP 神经网络的边缘检测方法	36
第五章 一种有效的边缘细化算法	39
第六章 实验结果与分析	46
6.1 人造图像的边缘检测	46
6.2 实际图像的边缘检测	48
6.2.1 人造图像训练 BP 神经网络	48
6.2.2 Lena 图像训练 BP 神经网络	49
第七章 结束语	52
附图表	53
参考文献	54
致 谢	60
攻读学位期间发表的学术论文	61

中文摘要

边缘是图像的最基本特征，它包含了用于识别的有用信息，为人们描述或识别目标以及解释图像提供了一个重要的特征参数。边缘检测是图像处理、图像分析和计算机视觉领域中最经典的研究内容之一，是进行模式识别和图像信息提取的基本手段。图像的边缘检测领域有着很长的研究历史，一直是研究的热点和焦点问题。实际处理的图像一般都混有噪声，如何消除噪声干扰带来的伪边缘并且同时保证边缘定位的准确性成为边缘检测需要解决的一个重要问题。

目前在边缘检测领域已经提出了许多方法，但是至今提出的相关理论和方法尚存在不足之处，在某些具体情况下仍然无法很好的检测出目标物体的边缘，难以找到一种普遍适应性的边缘检测方法。因此，根据具体的应用要求设计新的边缘检测方法，或者对现有的方法进行改进以得到满意的边缘检测结果，这些都是现在研究的主流方向。

人工神经网络 ANN (Artificial Neural Networks) 技术是近些年来迅速发展起来的人工智能科学的一个分支，它已经广泛应用在信息处理、模式识别、智能控制以及系统建模等领域。BP (Back Propagation) 神经网络是人工神经网络中最具代表性和广泛应用的一种模型，它结构简单，可操作性强，其非线性映射能力保证了它能成功实现各种简单或复杂的分类，而且它还具有很高的容错性和鲁棒性。近些年来，神经网络已经越来越多的应用于边缘检测领域，取得了令人满意的边缘检测效果。

本文提出了一种新的基于统计向量和 BP 神经网络的边缘检测方法。新方法首先从边缘点邻域的灰度分布特征以及与噪声点的区别出发构造了由 4 个统计量组成的统计向量；然后计算训练图像的统计向量集合作为训练样本，对不加噪训练图像的统计向量集合降维并作双阈值处理提取学习边缘图，对 BP 神经网络进行训练；最后用训练完成的 BP 神经网络直接判断像素点是否为边缘点，输出待检测图像的边缘

图。新方法在统计向量的构造上充分考虑了边缘点与噪声点的区别，具有较好的抗噪性能；新方法还引入了 BP 神经网络，通过对 BP 神经网络进行有目的的训练进而直接判断边缘点，这样就避免了通常边缘检测方法中设定阈值的问题；而且新方法中 BP 神经网络的结构和训练都比较简单；此外，与经典边缘检测方法 Canny 算子相比，新方法的算法也比较简单。

新方法对人造图像和实际图像均进行了相关实验。实验结果表明，新方法抗噪性能好，边缘定位准确，达到了令人满意的边缘检测效果。

本文分为七个部分。第一部分首先阐述了课题的研究背景、意义以及该领域的发展现状；第二部分介绍了几种经典的边缘检测方法，给出了这些方法的图像边缘检测结果，并且进行了相关的分析比较；第三部分阐述了 BP 神经网络的结构以及数学模型等相关知识；第四部分具体介绍了一种新的基于统计向量和 BP 神经网络的边缘检测方法；第五部分介绍了一种有效的边缘细化算法，它可以对新方法得到的图像边缘进一步处理以达到边缘的准确定位；第六部分给出了新方法的实验结果并且进行了相关分析。最后，本文在第七部分提出了研究展望以及后续研究的主要内容。

关键词：边缘检测；统计向量；BP 神经网络；双阈值；边缘细化

ABSTRACT

Edge is one of the basic characters of an image, which contains a great deal of useful information and offers people important parameters to describe and recognize objects in an image. Edge detection is one of the most fundamental operations in image processing, image analysis and computer vision. It is one of the basic methods for pattern recognition and image information extraction. The field of edge detection has been an active research area for several decades. There are probably more algorithms for edge detection in the literature than for any other single subject. Images obtained from real-world scenes are generally buried in noise. Both edges and noise may be obtained in an attempt to detect edges from an image with a large amount of noise. How to detect edges reliably and accurately in the presence of noise has remained an important issue in the field of edge detection.

There have been many algorithms proposed for the edge detection of images. But the existing theories and algorithms for edge detection still have some drawbacks and can not detect edges satisfactorily in some cases. It is hard to propose a general method of edge detection applied to all cases. So, it has been the focus of current research work to find new methods for edge detection with specific application requirements or to make improvements to existing methods.

The technology of artificial neural networks is a new branch of the field of artificial intelligence, which has been developing quickly in recent years and applied widely to areas of information processing, pattern recognition and intelligent control and system-modeling. The BP neural network is one of the most popular models of neural networks and has been widely used. The BP neural network has simple architecture and

is easy to operate. It can realize various simple or complicated classifications with its capability of non-linear mapping. Moreover, it has characters of excellent error-tolerance and robustness to negative influence. In recent years, neural networks have been more and more applied to the field of edge detection and achieved satisfactory performance.

A new edge detector based on the statistical approach and the BP neural network is presented in the paper. Firstly, based on the distribution characters of intensities in the neighborhood of an edge pixel and the difference between an edge point and a noise point, a statistical vector composed of 4 components is proposed, which determines the eligibility of a pixel to be an edge pixel. Then through the training with the statistical vector samples and the teaching edge map, the BP neural network acquires the function of a desired edge detector. The input statistical vector samples are got by calculating the statistical vector in a neighborhood window of each pixel in noisy training images. The teaching edge map is made from statistical vector samples of the noiseless training image by implementing the idea of de-dimension and hysteresis thresholding. At last, the trained BP neural network is used for edge detection directly. Based on the different distribution characters of intensities in the neighborhood of an edge and a noise point, the new method is robust to noise. Moreover, the proposed edge detector needs neither the priori knowledge about the power of noise in images nor thresholds for conventional edge detection methods through the useful training of the BP neural network. In addition, both the architecture and training of the BP neural network in the new edge detector are simple. At last, the algorithm of the proposed edge detector is simpler than that of the Canny edge detector.

Experiments were carried out with both noisy artificial and natural

images. The proposed edge detector proved robust against noise and detected edges accurately. In a short, the new edge detector achieved satisfactory performance.

The paper is organized as following seven parts. Firstly, Section 1 gives an introduction of the background, significance and development of the field of edge detection. And Section 2 introduces several classic edge detectors and gives edge detection results of these methods and offers some relative analysis and comparison. Then Section 3 offers specific knowledge about the architecture and mathematical model of the BP neural network. The specific algorithm and architecture of the proposed new edge detector based on the statistical vector and the BP neural network are introduced in Section 4. And an effective algorithm of edge thinning which is helpful for accurate edge localization is offered in Section 5. Experimental results and analysis of the performance of the new edge detector are presented in Section 6. At last, the paper ends with some further research plans mentioned in Section 7.

Keywords: edge detection; statistical vector; BP neural network; hysteresis thresholding; edge thinning

符号说明

一般变量、向量及函数：

$f(x, y)$	图像的灰度函数
$N(x, y)$	噪声函数
$\nabla f(x, y)$ 、 $G(x, y)$	图像的梯度
$ \nabla f(x, y) $ 、 Gm	图像梯度的幅值
$\theta(x, y)$	图像梯度的方向
θ_s	图像的边缘方向
$G(x, y, \sigma)$	具有正态分布的高斯函数
w_{ij}^1	BP 神经网络输入层与隐层神经元的连接权值
θ_j^1	BP 神经网络隐层神经元的阈值
h_j	BP 神经网络隐层神经元的输出
δ_j	BP 神经网络隐层的校正误差
w_{jk}^2	BP 神经网络隐层与输出层神经元的连接权值
θ_k^2	BP 神经网络输出层神经元的阈值
δ_k	BP 神经网络输出层的校正误差
η	BP 神经网络训练的学习步长
E	BP 神经网络的误差函数值
\hat{V}_{ij}	第四章新方法构造的统计向量
$\hat{V}_{ij}^{\wedge /}$	对统计向量 \hat{V}_{ij} 降维得到的统计向量
$Region(p)$	以像素点 $p(x, y)$ 为中心的 3×3 邻域
$thin_edge(x, y)$	像素点 (x, y) 的细化结果
SNR_T	图像的信噪比

缩略名词索引：

ANN	Artificial Neural Networks	人工神经网络
BP	Back Propagation	前馈式误差反向传播

第一章 绪论

1.1 课题的研究背景及意义

边缘是图像的最基本特征，它包含了用于识别的有用信息，为人们描述或识别目标以及解释图像提供了一个重要的特征参数。物体的边缘是以图像局部特性的不连续性为形式出现的。从本质上说，边缘常常意味着一个区域的终结和另一个区域的开始，它普遍存在于目标与背景、目标与目标、区域与区域、基元与基元之间，是图像分割所依赖的重要特征，也是纹理特征的重要信息源和形状特征的基础。有了图像边缘，我们就可以确定物体的几何尺寸并进一步对其测量，确定物体在空间中的几何位置，确定物体的形状特征并对物体进行识别。图像的边缘信息在图像分析和计算机视觉中都是十分重要的，是图像识别中提取图像特征的一个重要属性。

尽管边缘在数字图像处理中的作用非常重要，但是到目前为止还没有关于边缘的精确且被广泛承认的数学定义。这里将边缘定义为图像局部特性的不连续性，如灰度的突变、颜色的突变、纹理结构的突变等。对于灰度图像，边缘是指灰度的突变，是图像中灰度变化较剧烈的地方，也即我们通常所说的信号发生奇异变化的地方。通常沿边缘走向的像素变化平缓，而垂直于边缘走向的像素变化剧烈。图像的边缘有方向和幅度两个特性。按照幅度的变化，边缘可粗略分为两种：一种是阶跃型边缘，它两边像素的灰度值有显著不同；另一种是屋顶状边缘，它位于灰度值从增加到减少的变化的转折点。图 1.1 给出这两种边缘的示意图。

边缘检测就是要检测出图像中这种灰度的不连续性，同时确定它们在图像中的精确位置，是在局部区域上针对“点”的一种运算，表现为一种典型的信号处理问题。在图像处理、模式识别和计算机视觉中，图像的边缘检测具有极其重要的意义。在大量的视觉模块计算中，边缘检测通常是视觉计算的第一步，高层次计算机视觉处理的成功与

否极大地依赖于边缘检测算子的优越性能。

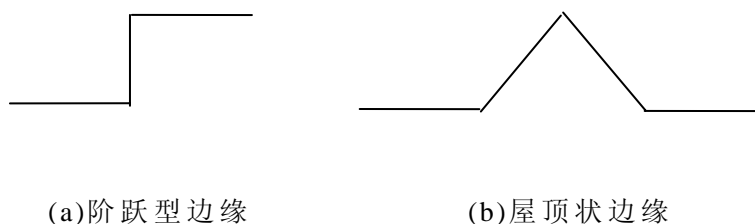


图 1.1 边缘类型

实际处理的图像一般都混有噪声，在提取边缘的同时亦需要考虑方法的抗噪性能以消除噪声干扰带来的伪边缘。而噪声消除与边缘定位是两个相互矛盾的部分，是边缘检测中的“两难”问题。如何从噪声污染的图像中准确提取图像边缘将直接影响图像的特征提取等后续处理，是图像预处理的关键一步。

1.2 课题的发展现状

图像的边缘检测有着很长的研究历史，学术思想非常活跃，新理论、新方法不断涌现，一直是国内外图像处理领域研究的热点，目前为止已经提出了许多方法和理论，对该领域相关研究的回顾请参考文献^[1-4]。这一方面是由于课题本身的重要性，另一方面也反映了该课题的深度和难度。至今提出的关于边缘检测的方法和理论尚存在不足之处，在某些具体情况下仍然无法很好的检测出目标物体的边缘，难以找到一种普遍适应性的边缘检测方法。因此，根据具体的应用要求设计新的边缘检测方法，或对现有的方法进行改进以得到满意的边缘检测结果，这些依然是研究的主流方向。

现有的边缘检测方法大致有以下几类^[5]：

1、微分法

传统的图像边缘检测方法大多归结为图像高频分量的增强过程，微分运算自然就成了边缘检测与提取的主要手段。基于边缘点往往对应于一阶微分幅值大的点，研究者最早提出了一些基于梯度的边缘检测算子^[6-10]，例如 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子、Kirsch 算

子等。基于梯度的边缘检测算子是现在应用比较广泛的方法，它们运算量小，操作简单。但是由于基于梯度的边缘检测算子通常在图像边缘附近的区域内产生较宽响应，所以采用上述算子检测的边缘一般需要作细化处理，这就影响了边缘定位的精度。一阶微分的局部最大值对应着二阶微分的过零点，这意味着在图像边缘点处有一阶微分的峰值同样会有二阶微分的零交叉点，因此人们也提出了二阶微分算子进行边缘检测^[8-10]，例如拉普拉斯算子。与基于梯度的边缘检测算子相比，拉普拉斯算子对噪声更加敏感，增强了噪声对图像的影响。实际应用中使用时，通常需要先对图像进行滤波平滑处理。

2、曲面拟合法

顾名思义，曲面拟合法就是把图像看作曲面，首先对图像进行某种形式的拟合，再在拟合曲面上根据拟合参数求得边缘。其基本思想是用一个平滑的曲面与待测点周围邻域内像素点的灰度值进行拟合，然后计算此曲面的一阶或二阶导数^[11-13]。Hueckel^[11,12]提出了首先用二维分段线性函数对原始图像作最佳拟合，然后用参数估计的方法进一步检测边缘，他还引进了正交基作近似简化运算。对于阶跃型边缘，Haralick^[13]提出用离散正交多项式对原始图像每一像素的某邻域作曲面最佳拟合，求得系数估计，然后在拟合曲面上求二阶方向导数的零交叉点，最终提取阶跃型边缘点。Haralick 的算法精度有较大提高，但由于正交多项式基构造过程复杂，灵活性差，不易表达复杂边界形状，应用受到了限制。

3、最优算子法

最优算子是在经典边缘检测算子的基础上发展起来的，这类方法的目的是根据信噪比求得检测边缘的最优滤波器。

Marr-Hildreth 算子^[14]，也被称为 LoG (Laplacian of Gaussian)算子，它先用高斯函数对图像进行平滑，再采用拉普拉斯算子根据二阶导数过零点检测边缘。数学上已经证明^[15]，LoG 算子是按照二阶导数零交叉点检测阶跃型边缘的最佳算子。

Canny 提出了评价边缘检测性能优劣的三个准则：信噪比准则、定位精度准则、单边缘响应准则，并且首次将上述准则用数学的形式表达出来，然后采用最优化数值方法得到对应给定边缘模型的最佳边缘检测模板，由此提出了 Canny 算子^[16]。对于各种类型的边缘，Canny 边缘检测算子的最优形式是不同的，它是目前在理论上相对最完善的一种边缘检测方法。在二维空间的情况下，Canny 算子的方向性质使其边缘检测和边缘定位的性能比 LoG 算子要好，它具有更好的抗噪性能，而且它能产生边缘的梯度方向和强度两个信息，为后续处理提供了方便。但是 Canny 算子也存在不足之处，为了得到较好的边缘检测结果，它通常需要使用较大的滤波尺度，这样容易丢失一些细节。

4、多尺度方法

早期边缘检测的主要目标是为了处理好单一尺度上的边缘检测和边缘定位之间的矛盾，而忽略了在实际图像中存在的多种干扰边缘，这往往影响到边缘的正确检测和定位。Rosenfeld 等^[17]首先提出要把多个尺寸的算子检测到的边缘加以组合；Marr 等人^[14]倡导同时使用多个不同尺度的算子，并提出了一些启发性的组合规则。这一思想后来经 Witkin^[18]、Canny^[16]等人发展成了尺度空间滤波理论。多尺度信号处理不仅可以辨识出信号中的重要特征，而且能以不同的细节程度来构造信号的描述，这在高层视觉处理中有重要的作用。

小波变换是近年来得到广泛应用的数学工具^[19-21]。与傅立叶变换和窗口傅立叶变换相比，小波变换是时域和频率域的局部变换，因而能有效地从信号中提取信息，它通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化分析，解决了傅立叶变换不能解决的许多困难问题，被誉为“数学显微镜”^[21]。作为多尺度通道分析工具，小波变换为信号在不同尺度上的分析和表征提供了一个精确和统一的框架^[21]。

现在已经有许多学者发展了基于小波变换的各种图像边缘检测方法^[22-29]。其中，文献^[24]采用 B 样条小波检测边缘；文献^[25]采用以零点为对称点的对称二进制小波来检测屋顶状边缘，用以零点为反对称点的二进制小波来检测阶跃型边缘；文献^[26]采用巴布小波进行边缘检测；

文献^[27]采用 Haar 小波来检测边缘；文献^[28]采用了多进制小波^[30]检测边缘；正交小波^[31]也被用来提取多尺度边缘。

5、模糊数学在边缘检测中的应用

为了用不精确的知识表达事件，人们提出了模糊集合的概念。模糊集合理论可以解决在模式识别的不同层次中，由于信息不全面、不准确、含糊、矛盾等造成的不确定性问题。八十年代中期，Pal 和 King 等^[32]提出了一种图像边缘检测的模糊算法，首次将模糊集合理论引入到图像的边缘检测中，该算法能有效地将物体从背景中分离出来，并在模式识别和医疗图像处理中获得了良好的应用。但是该算法也存在一些缺陷，比如损失了一些低灰度值边缘信息，并且运算复杂。

6、数学形态学在边缘检测中的应用

数学形态学是一种非线性滤波方法，它可以用来解决抑制噪声、特征提取、边缘检测等图像处理问题^[33,34]。数学形态学中二值图像的形态变换是一种针对集合的处理过程^[35]，其基本运算是腐蚀和膨胀。这种算法简单，适于并行处理，且易于硬件实现，适于对二值图像进行边缘提取^[36]。灰度数学形态学是二值数学形态学对灰度图像的自然扩展。Soille^[37]将灰度形态学的梯度与阈值相结合用于边缘检测，可较好的检测出被噪声污染的图像中的边缘。

7、神经网络分析法

人工神经网络是近些年来迅速发展起来的人工智能科学的一个分支，由于其强大的非线性映射功能及学习能力，神经网络在模式识别等多方面取得了较成功的应用，目前神经网络的各种模型也逐步应用到边缘检测领域。由于神经网络提取边缘是利用了原图的已有知识，是从宏观上认识对象，微观上提取细节，所以它具有较强的抗噪能力。目前国内外已经有许多学者在采用神经网络进行边缘检测方面进行了相关研究^[38-44]，并且取得了不错的结果。

8、统计学方法

在统计学的角度上，图像被看作一个随机域，图像边缘是通过一些统计特性反映出来。用统计学的方法检测边缘在近些年来已经取得

了令人满意的成果^[45-52]。文献^[45]将图像看作一个自回归模型进行边缘提取。文献^[46]将图像作为马尔可夫随机域进行处理。Bovik 等人在文献^[47]中提出了对加噪图像进行边缘检测的若干种非参数测试方法。Kundu 在文献^[48]中给出了一种基于局部统计信息的边缘检测方法，该方法直接将像素点分类为边缘点或者非边缘点。Fesharaki 和 Hellestrand^[49]在 5×5 窗口内以 8 个方向划分像素邻域，计算了他们构造的统计量，然后根据不同要求设定阈值检测边缘。文献^[50]提出了若干种基于实验设计模型的边缘检测方法。Hou, Koh^[51]给出了一种基于局部统计信息的强鲁棒性的边缘检测方法，该方法是针对图像叠加了高斯白噪声和脉冲噪声的非标准分布混合噪声的边缘检测。文献^[52]采用统计学的方法对边缘检测中的阈值设定问题进行了有效的研究，取得了比较满意的边缘检测效果。

除了以上列出的几种边缘检测方法外，还有贝叶斯方法^[53]、松弛迭代法^[54]等。

1.3 本文安排

本文首先阐述了课题的研究背景、意义以及该领域的发展现状，介绍了一些比较经典的边缘检测方法，并且对这些经典方法的检测结果进行了相关的分析比较。本文接着介绍了 BP 神经网络的结构以及数学模型等相关知识，然后具体介绍了一种新的基于统计向量和 BP 神经网络的边缘检测方法。为了进一步处理新方法得到的结果以达到边缘的准确定位，本文还介绍了一种有效的边缘细化算法。本文的实验部分包括了对人造图像和实际图像的边缘检测，实验结果表明，新方法抗噪性能好，边缘定位准确，达到了令人满意的边缘检测效果。本文最后提出了研究展望。

整篇文章的具体结构安排如下：

第一章阐述了课题的研究背景、意义以及该领域的发展现状。

第二章介绍了几种经典的图像边缘检测方法。

第三章介绍了 BP 神经网络的相关知识。

第四章介绍了一种新的基于统计向量和 BP 神经网络的边缘检测方法。

第五章介绍了一种有效的边缘细化算法。

第六章给出了新方法的实验结果以及相关分析。

第七章提出了研究展望。