

新的噪声污染灰度图像边缘检测方法

陈红艳¹, 马 上², 王海江³

CHEN Hong-yan¹, MA Shang², WANG Hai-jiang³

1.西南科技大学 信息工程学院,四川 绵阳 621010

2.电子科技大学 通信抗干扰国防重点实验室,成都 610054

3.电子科技大学 电子工程学院,成都 610054

1.College of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China

2.National Key Laboratory of Communication, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China

3.College of Electronics Engineering, University of Electronics Science and Technology of China, Chengdu 610054, China

E-mail: chenhongyan@swust.edu.cn

CHEN Hong-yan, MA Shang, WANG Hai-jiang. New method for edge detection of noisy gray scale image. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(11): 183-185.

Abstract: The normal methods with different algorithm are very sensitive to noise in edge detection. According to this problem, a new edge detection method for noisy gray scale image based on Independent Component Analysis (ICA) is proposed. The methods extract pattern template by calculating the higher statistical information of image data. Then a gray scale image contaminated by Gaussian noise is transformed into a pattern map by pattern matching. Thus the edges can be easily detected from pattern map. The experiments show that the proposed algorithm is a valid method of edge detection for image contaminated by Gaussian Noise.

Key words: edge detection; noisy image; Independent Component Analysis (ICA); pattern template

摘 要:传统的图像边缘检测方法由于引入了各种微分运算,因此用于噪声图像边缘检测时对噪声极度敏感。针对这一问题,提出了一种基于独立分量分析技术的噪声图像边缘检测方法,该算法通过计算数据之间的高阶统计信息,提取特征模板,然后将被高斯噪声污染的灰度图像与这些模板逐个匹配,提取出边缘成分。实验结果表明,基于独立分量分析技术的模板匹配方法自适应性强,复杂度低,是一种有效的高斯噪声污染灰度图像边缘检测方法。

关键词:边缘检测;噪声图像;独立分量分析;特征模板

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.11.056 **文章编号:** 1002-8331(2010)11-0183-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TN911.73

1 引言

图像边缘是图像信息中某种不连续性的表现形式,是图像最基本的特征之一。在图像处理和模式识别中图像的边缘检测是一个重要的研究课题,也是分析和理解图像的第一步,其检测质量直接影响着后续的图像处理及解译。传统的图像边缘检测方法主要有基于空间域和空间频率域算法。基于空间域的典型算法有 Robert、Prewitt、Sobel、Laplacian 算子等,这些算法直接用于噪声图像的边缘检测,对噪声非常敏感。通常的处理方法是先减小噪声的影响,再进行边缘检测,但这种方法会引起边缘模糊以及丢失有用信息,同时增加了计算复杂度。基于空间频率域的典型算法有基于小波分析及其改进算法的图像边缘检测方法^[1-2],用于噪声污染图像的边缘检测,取得了一定的边缘细节检测效果。

独立分量分析(Independent Component Analysis, ICA)是

近年来由盲源分离技术(Blind Source Separation, BSS)发展来的一种新的多维数字信号处理方法,它基于数据间的高阶统计信息,能从多变量数据中挖掘出隐含的信息成分^[3]。对图像数据而言,其大部分重要的特征信息与像素间的高阶统计特征有着密切联系。基于独立分量分析的优势,对被高斯噪声污染的图像进行边缘检测时,文献[4]首先使用基于 ICA 的稀疏编码算法消除噪声,再使用传统的检测方法进行边缘检测,取得了较好的检测效果,但是这种方法在去噪时需要事先知道高斯噪声的方差。该文通过计算无噪声图像数据间的高阶统计信息,获取自然图像的基向量,以此作为特征模板对被噪声污染的图像进行模式匹配,将噪声图像转化为特征图像,再进行特征检测,从而提取出噪声图像的边缘,取得了较好的检测效果,同时有效地消除了噪声对边缘检测的影响。理论分析与实验结果均表明了这种直接检测方法的有效性和实用性。

基金项目:西南科技大学青年预研基金(the Pre-Research Foundation of Southwest University of Science and Technology under Grant No.07zx3112)。

作者简介:陈红艳(1979-),女,讲师,研究领域为雷达信号与图像处理等;马上(1978-),男,博士研究生,讲师,研究领域为 VLSI 设计及无线通信;

王海江(1977-),男,博士研究生,讲师,研究领域为 SAR 图像处理、极化干涉 SAR 图像处理等。

收稿日期: 2008-10-07

修回日期: 2008-12-25

2 ICA 数学模型

20 世纪 90 年代以来,ICA 作为盲信号分离的一种有效方法而受到广泛关注,它通过计算数据之间的高阶统计信息,可以从观测信号中估计出互不相关且尽可能相互统计独立的被未知因素混合的原始信号的估计信号,是一种自适应优化算法,主要用于揭示和提取多维信号中的潜在信息。不考虑时间因素,只考虑随机变量的形式,其基本模型表达形式如下:

$$X=AS=\sum_{i=1}^m s_i a_i \quad (1)$$

式中 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 为一组 n 维随机观测向量; $S=(s_1, s_2, \dots, s_m)^T$ 为待估计彼此独立的 $m(m < n)$ 个未知源信号; $A=(a_1, a_2, \dots, a_m)^T$ 为混合矩阵, a_i 是 ICA 的基向量; A, S 未知。当待估计源信号 s_i 彼此统计独立且最多只有一个源信号服从高斯分布时,ICA 可仅根据观测量 X 以及 S 的一些基本统计特征来估计 A, S 。因此,独立分量分析的关键问题是寻找一个解混合矩阵 W ,对 X 进行线性变换,使得 m 维输出向量 $U=WX$ 中 $u_i(U$ 的行向量)尽可能相互统计独立,而成为独立分量 s_i 的一个估计。为简化起见,通常假定混合矩阵 A 为方阵且可逆。独立分量分析具体到算法的实现,方法很多,目前,国际上广泛使用的优化算法主要有 FastICA 算法和 Infomax 算法^[5-6]。

3 ICA 在边缘检测中的应用

3.1 特征图像

传统的图像特征是基于空间域的,揭示某个像素与其周围像素间的相互依赖关系。作为主分量分析算法(Principal Component Analysis, PCA)的一种延伸,独立分量分析着眼于数据间的高阶统计信息,能够更加全面地揭示数据间的本质结构。将其应用于图像特征提取,可实现图像的稀疏编码。稀疏编码是一种多维数据描述方法,编码后仅有少数分量同时处于明显激活状态。设 X 为从一副图像数据中截取的子图像,将公式(1)分解为如下线性形式:

$$X=s_1 \times a_1 + s_2 \times a_2 + \dots + s_M \times a_M \quad (2)$$

式中 $a_i(i=1, 2, \dots, M)$ 是第 i 个基向量, s_i 为相应的系数。由于这些系数随着图像数据 X 的变化而变化,且满足稀疏分布特性(如(Laplace 分布就是一个典型的稀疏分布),所以称之为图像的稀疏编码。对于一系列这样的子图像,可用如下矩阵形式表示其编码过程:

$$X=AS \quad (3)$$

式中 X 的列向量为一个子图像, A 的列向量 a_i 为 ICA 的基函数, S 为相应的系数矩阵,其行向量表示图像数据的一个特征。这里的关键问题是求解变换矩阵 W ,作如下变换:

$$Y=WX \quad (4)$$

后的各分量 $y_i(Y$ 的行向量)成为稀疏编码 s_i 的一个估计。从投影追踪的角度讲,寻找 W 的过程实际上是寻找非高斯性最强的方向,将该方向作为投影方向,使变换后的各分量 y_i 的非高斯性最强,对图像数据而言,即满足稀疏分布特性。这里 W 描述了从原始图像空间到特征子空间的一种变换关系,它的每一个行向量称为 ICA 的基函数或一个滤波器。

通常情况下,选取和待处理数据具有相同或相近统计特性的自然图像数据作为训练样本,利用 ICA 模型估计变换矩阵 W 。这里采用基于正交对称矩阵的快速定点算法(FastICA)^[6]对训练样本进行迭代运算。首先选取 10 副具有代表性的自然景

物图像作为训练样本,从这些自然景物图像中随机截取一系列 8×8 的训练子图像,实验中选取了 12 000 个这样的样本,形成 $64 \times 12 000$ 个这样的训练样本数据集,进行一系列预处理(去均值、白化和降维处理)后作为 FastICA 的输入样本。ICA 处理后,获得 64×64 维的图像块分离矩阵 W ,将 W 的每一个行向量转化成 8×8 的二维图像数据,得到 64 个基函数如图 1 所示。

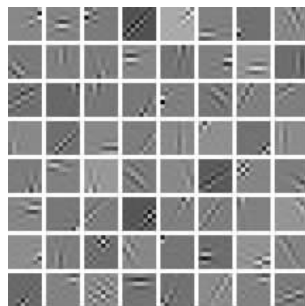


图 1 实验中提取的基函数

这些基函数的图像形式具有明显的方向性和局部性,能较好地反映训练图像在边缘细节上的重要特征。由于选取的训练图像与待处理图像有相近的统计特性,因此,可以采用一种基于 ICA 基函数的特征提取方法获取待处理图像的特征图像^[7]。在待处理图像(大小为 $M \times N$)中取一个 8×8 大小的滑动窗口,记当前窗口为 I_j ,记对应特征图像中当前像素为 P_j ,采用图 1 中的 64 个基函数作为特征模板,逐个与 I_j 进行匹配,匹配值最大的图像模板的序号即为特征图像中当前像素的值。对原始图像中每个滑动窗口都采用相同的方法进行处理,便可获取特征图像,具体算法流程如图 2 所示。其中 $k(k$ 的取值为 $1, 2, \dots, 64$)为当前滑动窗口与特征模版匹配最佳的特征模版序号,这样,特征图像中每个像素点的值即为与当前子窗口匹配最佳的模板序号值,这些像素被划分为边缘和背景两大类别。

利用上述方法提取特征图像的实验如图 3 和图 4 所示。图 3 为一副 200×200 的灰度图像,图 4 为该图像与图 1 所示的特征模板匹配后的特征图像,图中背景成分被划分为同一类别,其余则为边缘成分。

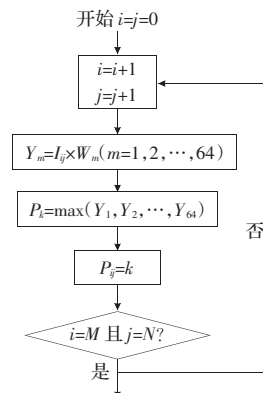


图 2 获取特征图像流程图

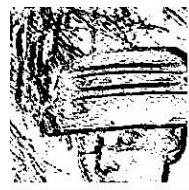
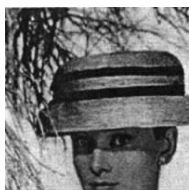


图 3 原始灰度图像

图 4 特征图像

图 5 边缘检测图像

3.2 边缘检测

通过 3.1 小节分析, 特征图像中的边缘与背景被划分为不同的类别, 且每个类别用不同的标号标出, 因此可用下述方法检测出图像边缘。

设特征图像中当前像素值为 P_{ij} , 边缘图像中对应的像素值为 e_{ij} , 则

$$e_{ij} = \begin{cases} 1 & P_{ij} = m \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中 m 为特征图像中背景像素的值。利用上述检测方法对图 4 处理后的边缘图像如图 5 所示, 边缘部分以黑色标出。比较图 3、图 5, 可以看出该方法能够准确检测出图像边缘, 尤其对于边缘细节比较丰富的部分, 检测效果较好。

4 基于 ICA 的噪声图像边缘检测

通过上述分析可以看出, 使用独立分量分析技术能够挖掘出自然景物图像中隐含的信息成分, 提取的基函数具有明显的局部性和方向性, 较好地反映了训练图像在边缘细节上的重要特征。进一步分析发现, 这些基函数实质上是原始图像空间到特征子空间的一个投影变换, 代表了非高斯性最强的方向。当被高斯噪声污染的图像数据与这些基函数匹配时, 高斯噪声对匹配结果影响较小, 决定匹配结果的仍然是图像的有效信息。由于选取的训练图像与待处理图像的真实信息有相近的统计特性, 因此, 可将基于独立分量分析的特征模版匹配方法直接应用于噪声图像的边缘检测。

为了说明基于 ICA 模板匹配方法在噪声图像边缘检测中的优点, 将该文的方法与经典的 Sobel 算法进行比较。实验中, 选取一副 256×256 的原始 Lena 灰度图像, 如图 6(a) 所示, 对 Lena 图像分别加入方差为 0.001 和 0.005 的高斯噪声后的图像如图 6(b)、(c) 所示, 图像的边缘细节淹没在噪声中。图 7、图 8 分别是使用经典的 Sobel 算法和该文方法进行边缘检测所得到的边缘图像。从图 6、图 7、图 8 的对比中可以看出, 使用经典的 Sobel 算法进行边缘检测时, 得到的边缘图像对噪声较敏感, 噪声方差越大, 检测到的虚假边缘越多。在有噪声的情况下, 使用基于 ICA 模板匹配方法进行边缘检测时, 由于在利用 ICA 提取的基函数与噪声图像进行模式匹配的过程中, 匹配结果受高斯噪声的影响较小, 从而检测出含噪图像与原始图像的主要边缘部分一致。在头部和肩部等均匀的区域, 由于噪声服从高斯分布, 而该方法能有效抑制高斯噪声的影响, 得到的边缘图像跟无噪声情况下检测到的边缘部分一致。可见, 该方法能够将淹没在噪声中的边缘细节部分提取出来, 较好地挖掘出了隐含的有用信息。



图 6 原始 Lena 图像及高斯噪声污染图像



图 7 Sobel 算法进行检测的边缘图像



图 8 该文算法进行检测的边缘图像

5 结论

文章基于独立分量分析的优势, 利用提取的基函数的方向性及高斯噪声对该方向不敏感的特点, 以此作为匹配模版对图像进行边缘检测。实验结果表明, 基于 ICA 的边缘检测方法快速有效, 从大量的自然景物中提取的基函数具有一定的通用性, 不仅可以用于无噪声灰度图像的检测和分析, 而且还可以直接用于被高斯噪声污染的灰度图像中, 具有较好的边缘检测效果和较强的抗干扰能力。该算法实现简单且自适应性强, 用于被高斯噪声污染的灰度图像边缘检测中, 在一定程度上解决了抑制噪声和边缘模糊这一对矛盾, 为高斯噪声污染灰度图像的边缘检测提供了一种新的方法, 是独立分量分析在数字图像处理领域获得成功应用的又一个典范。

参考文献:

- [1] Siddique J I, Barner K E. Wavelet-based multi-resolution edge Detection utilizing gray level edge maps[C]//Proceedings of IPCIP'98 International Conference on Image Processing. Los Alamitos, USA: IEEE Comput Soc, 1998: 550-554.
- [2] Saleem M, Touqir I, Siddiqui A M. Novel edge detection[C]//2007 4th International Conference on Information Technology New Generations. USA: IEEE Comput Soc, 2007.
- [3] Hyvarinen A, Karhunen J, Oja E. Independent component analysis[M]. New York: John Wiley, 2001.
- [4] 陈红艳, 付毓生, 张睿, 等. 基于 ICA-SCS 算法的极化 SAR 图像相干斑抑制[J]. 电子与信息学报, 2007(4): 819-821.
- [5] Bell A J, Sejnowski T J. An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution[J]. Neural Computation, 1995, 7(6).
- [6] Hyvarinen A. Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis[J]. Neural Processing Letters, 1999, 10(3): 1-5.
- [7] Chen Yenwei, Zeng Xiangyan, Lu Hanqing. Edge detection and texture segmentation based on independent component analysis[C]//16th International Conference on Pattern Recognition, 2002, 3: 351-354.