

改进型快速 ICA 算法与数学形态学结合的图像分割方法

段先知¹, 丁亚军^{1,2}, 钱盛友¹, 李 勇¹, 邹 孝¹

(1 湖南师范大学 物理与信息科学学院, 湖南 长沙 410081;

2 湖南师范大学 图像识别与计算机视觉研究所, 湖南 长沙 410081)

摘 要: 介绍了一种改进型快速独立分量分析 (FastICA) 算法与形态学相结合的图像分割方法. 该方法把图像的特征分量看作是边缘图像分量与其它背景图像分量的结合, 把快速 ICA 对图像分量的提取, 变为对边缘图像分量的提取, 得到边缘图像的独立分量, 再通过数学形态学的方法对边缘图像进行增强处理, 从而实现图像的分割. 实验结果表明: 与传统的图像分割方法相比, 该方法具有良好的图像分割性能, 可以清楚地观察到图像轮廓, 图像边缘的连通性较好且保留了原图像的很多细节, 分割效果较好.

关键词: 独立分量分析; FastICA 算法; 数学形态学; 图像分割

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)02-0080-04

A Method of Image Segmentation Based on Combination of Improved Fast ICA and Mathematical Morphology

DUAN Xian-zhi¹, DING Ya-jun^{1, 2}, QIAN Sheng-you¹, LI Yong¹, ZOU Xiao¹

(1 College of Physics and Information Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

2 Institute of Image Recognition & Computer Vision, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: A method for image segmentation based on combination of improved fast independent component analysis and mathematical morphology is proposed. The method regards the independent component of image as the combination of independent component of edge and independent component of background, it translates the extraction of image component into the extraction of edge image component, then get the independent component of the image edge, after enhancing the edge through the mathematical morphology transformation and realize the image segmentation. The result shows that it has better segmentation performance compared with the traditional methods of image segmentation, the image contour can be clearly observed, the segmented image has the good edge connectivity and retains the details of original image.

Key words: independent component analysis; fastICA; mathematical morphology; image segmentation

1 引言

独立分量分析 (Independent Component Analysis, ICA), 是近年来从信号分析与处理中发展而来的一种新的方法. 它不同于主分量分析把目光投注于信号的二阶统计量, 研究信号间的相关关系, 而是基于信号的高阶统计量, 研究信号间的独立关系. 独立分量分析已广泛应用于信号处理和图像

处理.

图像分割在图像处理领域里是一个很活跃的话题. 图像分割质量的好坏直接影响图像处理的整个过程, 如图像识别、图像理解等, 目前有一种通用的图像分割方法可以完成不同图像的分割任务, 对图像分割的好坏评价也没有统一的准则, 图像分割仍然是计算机视觉、图像处理等领域中的难题. 本文首先把图像分量看作是边缘分量与背景分量的结

收稿日期: 2014-05-16; 修回日期: 2014-06-09

基金项目: 国家自然科学基金项目 (11174077); 湖南省自然科学基金项目 (11JJ3079); 湖南省教育厅基金项目 (12C0237)

合,把原来快速ICA算法对图像分量的提取,变为边缘图像分量的提取,改进优化了FastICA算法,拓展了ICA在图像分割方面的应用。

2 独立分量分析

独立分量分析方法可以看作是主分量分析(Principal Component Analysis, PCA)的一种扩展,它将数据变换到相互独立的方向上,使经过变换所得到的各个分量之间不仅正交,而且相互独立。从数学的角度考虑就是为多维数据寻找一种变换,使得数据的特征尽可能相互独立^[1-2]。ICA的基本数学模型为:

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

其中 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 为一组 n 维的随机观测向量; $S = (s_1, s_2, \dots, s_m)^T$ 为 $m(m \leq n)$ 个未知原信号; $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)^T$ 为混合矩阵。

ICA的目的是仅通过观测数据 X 估计出未知独立源 S 或估计混合矩阵 A , 即求解一个解混矩阵 W , 使得 $XY=WX$ 的各分量尽可能相互独立, 并把 X 作为源信号 S 的估计。

3 改进型快速ICA与形态学结合的图像分割算法

在诸多ICA算法中, FastICA(也称固定点算法)以其收敛速度快、分离效果好被广泛应用于信号处理领域。该算法能很好地从观测信号中估计出相互统计独立的、被未知因素混合的原始信号。

3.1 改进快速ICA算法

因为快速ICA算法在独立分量提取时, 必须一个分量一个分量的提取, 并且提取的分量是随机的, 所以快速ICA算法应用于提取有用的图像分量时, 该算法有着不确定性以及较大的计算量, 并且快速ICA算法无法实现图像边缘的提取。针对快速ICA算法的不足, 本文对其进行改进、优化。首先, 针对快速ICA算法提取分量的随机性, 本文先从分量的集合中判断并选取出图像分量, 舍弃其余分量。然后再对选取到的图像分量进行进一步的边缘分量提取。这样既减少了快速ICA算法提取时的计算量, 又能提取到边缘图像。改进后的快速ICA算法步骤如下:

(1) 随机选择初始权值矢量 $W_0, k=0$;

(2) 更新权值矢量 W_{k+1} ; 归一化 $w(k) = w(k) / \|w(k)\|$;

(3) 选取图像分量, 分离图像边缘分量, 提取边缘图像。

3.2 分割算法的实现

3.2.1 图像预处理

为了便于计算, 原始图像的大小取为 256×256 , 用矩阵表示为 a , 定义一个矩阵 $A = [a, a, \dots, a]$, A 矩阵有着特殊性, 它是由 $n+1$ 个相同的矩阵 a 组成。建立矩阵 A 是为了便于图像分量的提取, 并且由于边缘部分与背景部分在提取过程中迭代次数不同, 边缘图像像素与背景图像像素会产生像素差。

3.2.2 图像分量的提取

对 A 矩阵进行去均值、白化处理得到矩阵 B , 然后从矩阵 B 中提取出图像分量。在快速ICA算法中, 由于 $n+1$ 张图像并不独立, 所以结果会得到 1 个图像分量 S , 与 n 个近似于零的分量 IC。因为快速ICA进行图像分量的提取时必须是逐个分量提取, 所提取的独立分量的结果也是随机分布的, 所以在 n 个分量中寻找所需要的图像分量会花费一定的时间, 影响该算法运算速度, 从而需要对其进行改进、优化。在图像分量的提取过程中可采用阈值法, 从矩阵 B 的 $n+1$ 组分量中选出图像分量并去除无用的 IC 分量。阈值 T 值选取范围为: $0 \leq T \leq |a|$, 其中 $|a|$ 为原始图像的模。把矩阵 B 中各个分量取模, 通过各个分量的模值与阈值 T 比较得到图像分量。取模后大于 T 的向量则为图像向量, 取模后小于 T 的则为 IC 向量。该方法把要处理的 $n+1$ 组向量转化为 1 组向量, 不仅简化了过程, 而且能减少重构图像的工作量, 从而可以提高算法的速度。

3.2.3 边缘轮廓的分离

通过图像分量提取处理后即可获取图像分量 S , 再把图像分量看做是图像边缘特征分量与其他背景的组合, 进行边缘特征分量的提取。

边缘轮廓的估计: 提取到图像分量 S 后, 由于边缘部分与非边缘部分迭代次数不同, S 中边缘像素与非边缘像素有一定差异值, 直接对图像信号分量 S 进行处理, 放大边缘图像与非边缘图像的像素差 C , 设 S 中某一边缘点 T 的像素为 t , 而 T 旁边的某一非边缘点 R 像素为 r , 它们的像素差为

$$C = |t - r| \tag{2}$$

图像分量 S 在重构图像过程中, T 点与 R 点的像素差变为

$$C = C \times N \tag{3}$$

式中, N 为像素差放大倍数需根据不同的图像选定不同的值.

N 值得选取: 选取合适的 N 值后, 应该满足如下的条件:

$$\text{uint8}(\text{round}(t * N)) \leq T_1 \tag{4}$$

$$\text{uint8}(\text{round}(r * N)) \geq T_1 \tag{5}$$

式中, t 为边缘像素; r 为背景像素; T_1 为能够作为区分背景部分与边缘的最佳阈值. 为了寻找最合适的 N 值, 可以用下面的迭代方法求得:

(1) 设图像矩阵 S 初始放大倍数为 N , 使用迭代

法求得此时矩阵 S 的最佳阈值 T_1 .

(2) 若 $\text{uint8}(\text{round}(N * T_1))$ 的值远小于 255, 取 $S = S * N; N = N + 20$; 再返回(1).

(3) 若 $\text{uint8}(\text{round}(N * T_1))$ 的值逼近 255, 则可以认为取得了最为合适的 N 值.

经过上述处理, 边缘点与非边缘的点的像素差值得到了放大, 边缘部分与非边缘部分的像素差值也得到放大, 使得边缘部分得到增强, 弱化了图像的其余部分, 相当于对图像边缘的分量进行了分离. 图像中的背景像素趋向于最大像素值, 图像中体现为白色, 边缘像素虽然也得到放大, 但不会趋向于最大像素值, 所以在图像中会得到体现. 对处理后的图像分量进行重构, 得到估计的图像轮廓, 然后保留图像, 进行下一步处理. 算法具体步骤如图 1 所示.

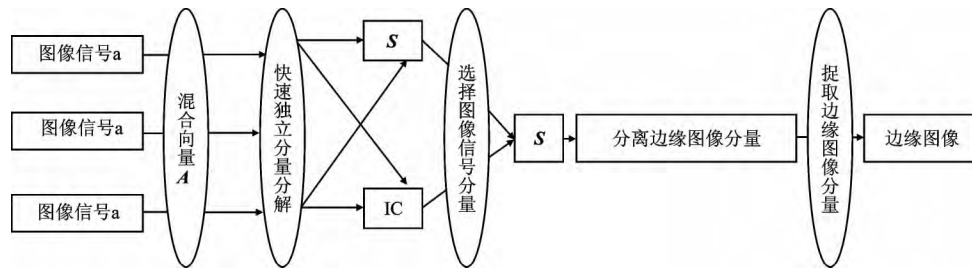


图 1 改进快速 ICA 边缘图像提取算法示意图

3.3 边缘图像增强

上述方法得到的图像如图 2(b)所示, 该图像边缘的线条较细, 清晰度不高, 但是却包含了原始图像的边缘的绝大部分特征, 表明改进型快速 ICA 图像分割算法能成功的提取图像的边缘特征, 为了改善图像的视觉效果, 得到清晰的边缘图像, 必须对图像进行增强.

图像增强是在原始的图像上增强图像中的有用信息, 将原来不清晰的图像变得清晰或者加强某些的特征, 扩大图像中不同物体特征之间的差别, 从而

改善图像质量、丰富图像的信息量, 加强图像的识别效果^[3].

本文采用数学形态学的方法进行图像增强. 形态学运算是物体形状集合与结构元素之间的相互作用, 对边缘方向不敏感, 并能抑制噪声和探测真正的边缘, 将数学形态学用于边缘检测, 既能有效地进行图像增强, 又可保留图像中的原有细节信息^[4]. 图 2(a) 是大小为 256×256 , 最大灰度值为 255 的源图像. 图 2(b) 为采用改进型 ICA 分割方法得到的图像, 图 2(c) 为图 2(b) 经过数学形态学增强后的图像.



(a)原始图像

(b)改进FastICA分割的边缘图像

(c)形态学增强后图像

图 2 分割过程中产生的图像

4 实验结果与分析

为了证实该分割方法的优越性,本文从主观评价与客观标准两个方面与传统的方法进行对比^[5-6].

由实验结果可见,从主观与客观的两种标准评判可以得出:(1)直接使用传统的 Sobel 算子的方法处理图像的分割效果比较差。(2)形态学增强 Sobel 算子的方法较传统 Sobel 算子的方法在分割性能上有所提升,但是分割后的图像连通性不好,细节不够丰富,与原始图像有较大的差别。(3)本文方法有很好的分割性能,包含了原始图像的绝大多数信息,细节丰富,分割效果更好。

5 结束语

本文在快速ICA的原理及算法的基础上再结合形态学,得到一种新的图像分割方法,该分割方法不仅改进了快速IAC算法,优化了提取过程,减少了算法的计算量,成功的提取到了边缘图像的独立分量,而且分割后的图像连通性好,细节丰富。实验结果表明,该方法无论是从主观因素分析还是客观标准评价上都优于传统的分割方法。

参考文献:

- [1] 黄丽妍,黄守增,高强.基于改进的独立分量分析的图像分离的研究[J].微电子学与计算机,2006,23(5):210-212.
- [2] 吴小培,冯焕清,周荷琴,等.基于独立分量分析的图像分离技术及应用[J].中国图象图形学报,2001,6A(2):133-137.
- [3] 张翔,刘媚洁,陈立伟.基于数学形态学的边缘提取方法[J].电子科技大学学报,2002,31(5):490-493.
- [4] 闫海霞,赵晓辉.基于数学形态学的边缘检测方法[J].计算机应用研究,2008(11):3494-3498.
- [5] 陈天华.数字图像处理[M].北京:清华大学出版社,2007:249-258.
- [6] MA Y D, QI C L. Study of Automated PCNN system based on genetic algorithm[J]. Journal of System Simulation, 2005, 18(3):722-725.

作者简介:

段先知 男,(1991-),硕士研究生.研究方向为数字图像处理.

钱盛友 男,(1965-),教授,博士生导师.研究方向为生物医学超声等.

丁亚军(通讯作者) 男,(1971-),副教授.研究方向为超声技术及应用. E-mail:yajunding@126.com.

(上接第79页)

- [7] 余在祥,陈海波,孙永节,等.DMA并行传输机制的设计和实现[J].微电子学与计算机,2012,29(2):1-6.
- [8] 史昕蕾,杨军,陆生礼.嵌入式SOC中的DMA控制器的设计和优化[J].电子工程师,2004(1):5-7.

作者简介:

石文侠 女,(1989-),硕士研究生.研究方向为IP设计. E-mail:18009253638@163.com.

吴龙胜 男,(1970-),研究员,总工程师.研究方向为IC设计、SOC设计.

盛廷义 男,(1974-).研究方向为SOC设计.