

量子叠加态和信息熵的形态边缘提取算法*

刘清¹, 曾小荟^{1,2}, 王忠华³, 涂娟¹

(1. 井冈山大学 电子与信息工程学院, 江西 吉安 343009; 2. 同济大学 嵌入式系统与服务计算教育部重点实验室, 上海 200092; 3. 南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 330063)

摘要: 针对含噪图像的边缘难以检测的问题, 通过研究量子力学叠加态理论, 构造出一种多结构的量子叠加态结构元素, 此叠加态结构元素涵盖线条的任意走向, 从而检测出完整而连续的边缘; 并在算法设计中利用图像信息熵确定各叠加态结构元素的概率。仿真实验结果表明, 相对于传统形态学结构元素, 所提出的量子叠加态结构元素对含噪图像边缘检测可以得到比较理想的效果。

关键词: 数学形态学; 量子叠加态; 信息熵; 边缘检测

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)06-2387-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.06.104

Edge detection by mathematical morphology filtering about quantum superposition state and entropy

LIU Qing¹, ZENG Xiao-hui^{1,2}, WANG Zhong-hua³, TU Juan¹

(1. School of Electronics & Information Engineering, Jinggangshan University, Ji'an Jiangxi 343009, China; 2. Key Laboratory of Embedded System & Service Computing for Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. School of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Based on principle of superposition state in quantum mechanics, this paper constructed a novel multi-structure morphology structure element and used it to detect edge of noised image. This morphology structure element, which based on superposition state, could detect integrated and continuous edge because it comprises almost all the directions of lines that extended in the image. And its size and shape were not invariant after its scale selected. Moreover, this paper applied image entropy in setting the probability of structure element. The experimental results show that this algorithm can gain desired effect comparisons with traditional structure element.

Key words: mathematical morphology; quantum superposition state; entropy; edge detection

0 引言

图像边缘包含丰富的图像信息, 是一个非常重要的图像预处理过程, 在计算机视觉和图像处理领域中占据重要地位。在图像的生成、传输和处理过程中将不可避免地产生各种类型的噪声, 因此如何有效地从受到噪声干扰的图像中检测出边缘一直是该领域感兴趣的课题^[1]。传统的边缘检测方法尽管得到了很大的发展, 但仍存在许多问题, 特别是边缘检测精度与抗噪性能的协调问题。

数学形态学与图像的几何结构特征相关联^[2~7], 具有建立形态差分算子的先天优势, 在图像边缘检测的连续性及方向同性方面都优于传统经典边缘提取算法。结构元素的选择决定了形态学边缘检测的性能, 如何根据边缘特征自适应选择结构元素已成为形态学中一个难点与热点。谢可夫等人^[8~10]曾研究量子力学理论与形态学结合的量子衍生图像处理方法, 并在图像去噪和图像边缘提取中得到了不错的应用。本文正是基于上述理论而提出了一种多结构的结构元素, 即量子叠加态结

构元素, 并考虑利用图像信息熵确定各叠加态结构元素的概率, 同时构造相应的形态学运算。在此形态学运算中, 叠加态结构元素可随窗口的移动而调整其大小和形状。实验结果表明, 基于量子衍生的叠加态结构元素可以得到完整而连续的图像边缘信息, 同时可以有效去噪。

1 量子启发的信号处理方法

量子信息处理的思想给传统的信号和信息处理方法带来了新的思路, 即量子衍生(或启发)方法^[11~16]。量子衍生方法是研究如何借鉴和利用量子理论的基本概念、原理和公理化数学体系, 来建立基于计算机上实现且用于解决某些具体问题的新方法或改进方法。量子衍生图像处理方法是量子衍生方法在图像处理领域的拓展, 它为该领域的理论研究和实现提供了一种新的观念和思路。本文主要探讨一种基于量子叠加态的形态学图像边缘测量算法。

1.1 量子比特和量子系统

对于单量子位的量子系统, 一个量子比特就是由一对特定

收稿日期: 2011-10-18; **修回日期:** 2011-11-24 **基金项目:** 江西省科技厅指导计划项目(2009ZDG04800); 江西省教育厅科技计划项目(GJJ11180, GJJ10538); 同济大学嵌入式系统与服务计算教育部重点实验室开放课题(2010-09)

作者简介: 刘清(1977-), 副教授, 博士, 主要研究方向为多尺度几何分析、图像处理(liuqing960@163.com); 曾小荟(1972-), 副教授, 博士, 通信作者, 主要研究方向为网络平台开发与设计; 王忠华(1978-), 副教授, 博士, 主要研究方向为图像分析、模式识别; 涂娟(1982-), 讲师, 硕士, 主要研究方向为信号与信息处理。

的标准正交基 $|0\rangle, |1\rangle$ 张成的二维 Hilbert 空间, 记为

$$|\psi_q\rangle = \omega_0|0\rangle + \omega_1|1\rangle \quad (1)$$

其中, ω_0, ω_1 分别为状态 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的概率幅, 且满足归一化条件:

$$\omega_0^2 + \omega_1^2 = 1 \quad (2)$$

对于一个具有 n 位的量子系统, 设其第 i 位量子态为 $|\psi^i\rangle$, 且有

$$|\psi^i\rangle = \omega_0^i|0\rangle + \omega_1^i|1\rangle \quad i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

则 n 位量子系统状态空间有 2^n 个基向量, 整个量子系统的状态由这 n 个量子位状态的张量积构成:

$$|\psi\rangle = |\psi^1\rangle \otimes |\psi^2\rangle \otimes \dots \otimes |\psi^n\rangle = \sum_{l=0}^{2^n-1} \omega^l |l\rangle \quad (4)$$

其中: $|l\rangle$ 为第 l 个基态, ω^l 为基态 $|l\rangle$ 的概率幅, 且满足

$$\sum_l \omega^l = 1 \quad (5)$$

量子态 $|\psi\rangle$ 正是这 2^n 个基态 $|l\rangle$ 的叠加态。

1.2 叠加态结构元素的构造

基于量子态的表示理论, 可以推广形态学结构元素的描述方式。对于传统的结构元素 B :

$$B = \begin{bmatrix} b_n & b_{n-1} & \cdot & \dots \\ \cdot & \cdot & b_i & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdot & \cdot & b_2 & b_1 \end{bmatrix} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

设 $b_i \in [0, 1]$, 此时重新定义 b_i 为该位置点属于结构元素的概率值, 且每个位置点被理解为一个量子基态, 则此结构元素可以构造成基于量子叠加态的二值(或灰度)形态学结构元素, 即

$$B = \begin{bmatrix} |\psi_n\rangle & |\psi_{n-1}\rangle & \cdot & \dots \\ \cdot & \cdot & |\psi_i\rangle & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdot & \cdot & |\psi_2\rangle & |\psi_1\rangle \end{bmatrix} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

其中: $|\psi_i\rangle = \sqrt{1-b_i}|0\rangle + \sqrt{b_i}|1\rangle \quad (8)$

如此构造出的叠加态结构元素, 每个位置点都以一定概率出现, 所以结构元素涵盖了 $2^n - 1$ 个基态, 即

$$B = |\psi_n\rangle \otimes \dots \otimes |\psi_i\rangle \otimes \dots \otimes |\psi_1\rangle = \sum_{l=0}^{2^n-1} \omega^l |l\rangle \quad (9)$$

叠加态结构元素 B 包含任意可能性的结构组合, 因此利用这样的叠加态结构元素来检测图像便可以得到任意方向的图像边缘。下一章将讨论这个问题。

2 量子启发形态学的边缘提取

针对含噪图像, 直接采用抗噪膨胀腐蚀型形态检测算子来提取图像边缘^[17], 即

$$E(f) = (f \circ B) \oplus B - (f \cdot B) \ominus B \quad (10)$$

在此, 采用第 1 章构造出的叠加态结构元素进行形态运算, 则有

$$E(f) = (f \circ \sum_{l=0}^{2^n-1} \omega^l |l\rangle) \oplus \sum_{l=0}^{2^n-1} \omega^l |l\rangle - (f \cdot \sum_{l=0}^{2^n-1} \omega^l |l\rangle) \ominus \sum_{l=0}^{2^n-1} \omega^l |l\rangle \quad (11)$$

此时每一个基态 $|l\rangle$ 相当于退化到一个传统的形态学结构元素, 而图像边缘则是利用这 2^n 个基态或结构元素进行形态学运算的叠加结果。

实际运算中, 关键是基态概率的选择问题^[6], 如果针对基态里每一个量子位的概率进行估计, 计算会比较复杂。本文的

考虑思路是, 利用图像信息熵来确定基态概率 ω^l 的取值。首先, 由任意一个结构元素得到的边缘分量即

$$E_l(f) = (f \circ |l\rangle) \oplus |l\rangle - (f \cdot |l\rangle) \ominus |l\rangle \quad l=1, 2, \dots, 2^n-1 \quad (12)$$

然后计算此图像边缘分量相应的信息熵, 有

$$H_l = -\sum_m p_m \log(p_m) \quad (13)$$

其中: m 为边缘分量 $E_l(f)$ 的灰度级, p_m 为边缘分量 $E_l(f)$ 相应的灰度级概率。基态概率 ω^l 可以计算如下

$$\omega^l = \frac{H_l}{\sum_{l=0}^{2^n-1} H_l} \quad (14)$$

最终图像的边缘式(11)可以线性叠加为

$$E(f) = \sum_{l=0}^{2^n-1} \omega^l E_l(f) \quad (15)$$

3 仿真实验与分析

利用所提出的叠加态结构元素进行含噪图像边缘检测的实现问题。设计的算法步骤如下:

- 构造基于量子力学理论的叠加态结构元素;
- 利用式(12)得到每个基态运算的边缘分量结果;
- 采用式(13)计算出相应的图像信息熵;
- 重复步骤 b)c), 直至所有的基态都运算完毕;
- 利用式(14)得到各基态的概率, 然后利用式(15)得到图像的完整边缘。

仿真实验中使用的电脑 CPU 为 T5600, 内存 1 GB, 软件为 MATLAB 2006a, 原始图像(大小为 256×256 , 灰度图像)加入方差为 0.1、均值为 0.01 的高斯噪声; 结构元素形态计算原点在其中心位置, 大小为 3×3 , 等价于如下基态的叠加态

$$B_1 = \omega^0 |000010000\rangle \otimes \dots \otimes \omega^{2^8-1} |111111111\rangle \quad (16)$$

为了对比边缘提取实验效果, 另外采用单一结构元素为 B_2 和多结构元素 B_3 分别进行同样的形态运算, 其中

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$B_3 = \frac{1}{4} \left\{ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right\} \quad (18)$$

由图 1(b)可知, 单一结构元素 B_2 大小固定、尺度单一, 检测出的边缘不连续, 去噪效果也不理想; 而(c)显示, 结构元素 B_3 实际上只是考虑了四个方向的边缘信息, 所以提取的边缘不够完整; (d)和(e)分别是基于传统的微分算子 Canny 和 Log 算子的实验结果, 可以看出传统微分算子尽管可以得到相对连续和完整的边缘, 但是对噪声十分敏感; 如(f)的边缘检测结果所示, 由于构造出的叠加态结构元素 B_1 几乎包含了结构元素内线条的任意走向, 所以提取出的边缘更为完整而连续, 同时去噪效果也不错。实验结果表明, 利用图像信息熵来确定各叠加态的概率简单可行, 并且根据信息熵可以进一步对叠加态有所选择或偏向, 以达到根据图像边缘特征自适应地构造合适的形态学结构元素, 这是即将要做的工作。

4 结束语

本文研究一种基于量子信息理论的叠加态结构元素的构造

方法,同时利用图像信息熵进行叠加态的概率估计,通过形态学运算检测含噪图像的边缘。仿真实验结果表明,所提出的边缘提取算法能得到比较完整而连续的边缘,下一步将考虑如何把图像像素之间的关联信息考虑进来,利用量子测量或量子纠缠来表征这些关联信息,进行图像恢复或图像分割方面的研究。

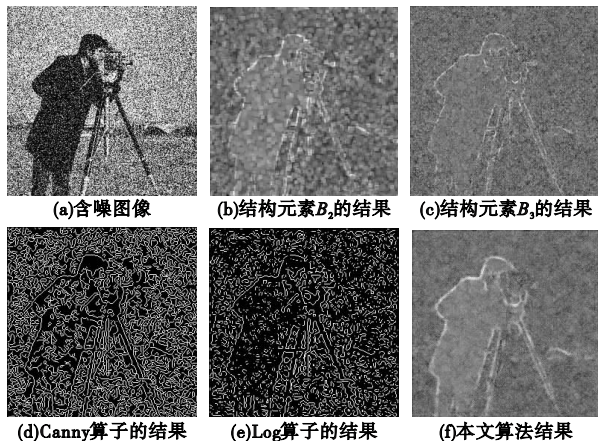


图1 各算法的边缘检测结果

参考文献:

- [1] 付青青,冯桂. 噪声图像中边界提取方法的研究[J]. 电脑与信息技术, 2003,21(1):22-25.
- [2] SERRA J. Introduction to mathematical morphology[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1986,35(1):283-305.
- [3] 郭骏,活中,胡小建. 基于灰度形态学的烟叶图像边缘检测[J]. 计算机工程, 2007,33(21):163-165.
- [4] BAI M R. A new approach for border extraction using morphological methods[J]. International Journal of Engineering Science and Technology, 2010,2(8):3832-3837.
- [5] 闫海霞,赵晓晖. 基于数学形态学的边缘检测方法[J]. 计算机应用研究, 2008,25(11):3496-3497.
- [6] 刘清,林土胜. 基于数学形态学的图像边缘提取算法[J]. 华南理工大学学报, 2008,36(9):113-116.
- [7] 刘清,林土胜. 数学形态学的图像边缘检测算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2008,44(35):188-189.
- [8] 谢可夫,罗安. 量子启发数学形态学的研究[J]. 电子学报, 2005,33(2):284-287.
- [9] 谢可夫,罗安,周心一. 量子衍生形态学图像边缘检测方法[J]. 计算机工程与应用, 2007,43(11):87-89.
- [10] 谢可夫,周心一,许光平. 量子衍生坍塌形态学滤波[J]. 中国图象图形学报, 2009,14(5):967-971.
- [11] 姜联堂,丁明跃,周成平. 基于量子力学目标轮廓提取方法[J]. 计算机工程与应用, 2005,42(3):94-97.
- [12] 姜联堂,丁明跃,周成平. 量子轮廓模型[J]. 量子电子学报, 2005,22(3):354-360.
- [13] ELDARY C, OPPENHEIM A V. Quantum signal processing[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2002,19(6):12-32.
- [14] TSENG C C, HWANG T M. Quantum digital image processing algorithms[C]//Proc of 16th IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing. 2003:827-834.
- [15] HAN K H, KIM J H. Quantum-inspired evolutionary algorithm for a class of combinatorial optimization [J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2002,6(6):580-593.
- [16] PURUSHOTHAMAN G, KARAYIANNIS N B. Quantum neural networks(QNNs): inherently fuzzy feedforward neural networks[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 1997,8(3):679-693.
- [17] 杨述斌,彭复员. 噪声污染图像中的广义形态边缘检测器[J]. 计算机工程与应用, 2002,38(17):91-92.