

# 基于多阶环形结构量子算法的图像纹理检测研究

陈志明

福建商学院信息管理工程系, 福建 福州 350012

**摘要** 为了提高图像纹理检测的效果,采用多阶环形结构量子算法。建立了量子多阶环形结构,每个量子不仅可以与自身环沟通,还可以与不同阶的环沟通,每个量子可以选择自身左右相连的两个量子作为邻居,也可以在相邻环上随机选择其他量子作为邻居,其选择相邻环或者跨环上的数量随机决定,环的优劣决定了环在多阶环中的位置,自适应选择每阶量子个体参与优化的概率。确定了量子节点信息被共享概率,包括全阶共享概率和同阶共享概率;通过幅度、符号、灰度级构成图像纹理的局部二值检测模型,邻域灰度的均方差描述纹理复杂度;并给出了算法流程。实验仿真显示,该算法检测纹理清晰,纹理连贯性较好,同时处理时间、熵值、平均梯度指标较好。

**关键词** 成像系统;多阶环形;量子;纹理检测

**中图分类号** TP391.4 **文献标识码** A

**doi:** 10.3788/LOP53.111101

## Image Texture Detection Based on Multi-Order Ring Structure Quantum Algorithm

Chen Zhiming

Department of Information Management and Engineering, Fujian Commercial College, Fuzhou, Fujian 350012, China

**Abstract** In order to improve the effect of image texture detection, the multi-order ring structure quantum algorithm is proposed. The quantum multi-order ring structure is established. Each quantum can communicate with rings of both its own order and other orders, so each quantum can choose two quanta which are connected or located at other rings as its neighbors and the number of quanta which choose other rings' quanta as its neighbors is determined randomly. The position is contributed to the capability of the ring and the probability of each order quantum which is optimized is determined self-adaptively. The quantum node information is proposed, including full and same order sharing probability. The image texture local binary detection model is established by amplitude, symbols and gray, the standard deviation is chosen to describe texture complexity for gray in the neighborhood. And, the algorithm process is given. Simulation experiments show that detection texture of the proposed method is clear, the texture is coherent, and the processing time, entropy and average gradient index are better than other algorithms.

**Key words** imaging systems; multi-order ring; quantum; texture detection

**OCIS codes** 110.4155; 110.2970; 120.1880

## 1 引言

图像可分解为许多不同的纹理区域,同时纹理信息比较丰富<sup>[1]</sup>,是图像基元灰度统计信息、空间分布信息和结构信息的综合反映,纹理检测可获得纹理的定量和定性描述过程<sup>[2]</sup>。

灰度共生矩阵(GLCM)算法通过共生矩阵的方向性提取图像灰度级差,获得纹理信息,但该算法仅反映某一方向上的信息,无法直接用于像素分类,需要合适的级差进行纹理检测;全连接结构量子(FCQ)算法每个量子与环中的所有量子交换信息,虽然该方法使得收敛速度加快,但迭代次数过多,容易陷入局部最优;四

**收稿日期:** 2016-06-24; **收到修改稿日期:** 2016-07-06; **网络出版日期:** 2016-10-21

**基金项目:** 福建省教育厅基金项目(JA14399)

**作者简介:** 陈志明(1961—),男,本科,副教授,主要从事电子信息工程技术方面的研究。

E-mail: chenzhiming1961@qq.com

簇拓扑结构量子(FCTQ)算法空间结构较为复杂,没有考虑簇内节点和簇头间距离,容易造成整体量子数过多,影响算法的性能;栅格邻域结构量子(LNSQ)算法解决了空间结构复杂的问题,邻域阶数决定邻域的大小,邻域中各点的位置坐标只能取整数值,易出现孤立的量子节点,降低数据融合的效率;对称分布结构量子(SDSQ)算法量子空间位置间隔相等,管理简单,不能保证量子最优的空间位置处于最优分布上,不适宜一对多的数据处理<sup>[3-7]</sup>。

本文采用多阶环形结构量子(MRSQ)算法检测图像纹理,建立量子多阶环形结构,在多阶环形结构里,每一阶环形结构里面的所有量子首尾相连构成一个环形,量子均匀分布在每一阶圆环上,但是圆环之间距离不一定相等,为了控制局部搜索中最差个体的更新程度,将共享因子与当前阶数及全阶相结合,实验仿真显示本文算法检测纹理清晰,纹理连贯性较好,同时处理时间、熵值、平均梯度指标较好。

## 2 量子环形结构算法

### 2.1 量子算法

在量子算法中,最小的信息单元为1个量子比特<sup>[8]</sup>。1个量子比特的状态可以取值为0或1,或任一叠加态。

$$|\varphi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle, \quad (1)$$

式中 $\alpha$ 、 $\beta$ 分别为量子状态0、状态1的概率幅,满足 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ , $|\alpha|^2$ 、 $|\beta|^2$ 分别为 $|\varphi\rangle$ 处于状态0、状态1的概率。

量子旋转门可表示为

$$U(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中 $\theta$ 为量子旋转角。

### 2.2 多阶环形结构

在多阶环形结构中,使用阶数与环结构的概念,每个量子不但可以与自身环沟通,还可以与不同阶的环沟通;对各个环进行独立分组,即不同环上的量子属性不同;同时避免将相关性较强的量子放在同一环内<sup>[9-10]</sup>。在多阶环形结构里,每一阶环形结构里面的所有量子首尾相连构成一个环形,量子均匀分布在每一阶圆环上,但是圆环之间距离不一定相等,如图1所示。图1(a)所示为三阶等间距圆环结构,各阶环形半径是各阶环形圆周相对第一阶的圆心距离,距离半径分别为 $R_1=1, R_2=2, R_3=3$ ;图1(b)所示为三阶非等间距圆环结构,半径分别为 $R_4=0.8, R_5=1.5, R_6=3$ 。

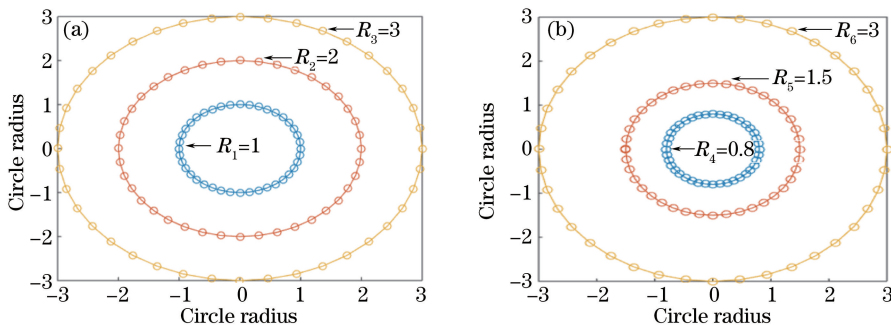


图1 三阶环形量子结构。(a)等间距圆环结构;(b)非等间距圆环结构

Fig. 1 Three order ring quantum structures. (a) Equal interval ring structure; (b) non-equal interval ring structure

同一阶环形结构里面的量子在开始运算时只与其左右相邻的各 $k$ 个量子直接相连,也可以随机选择同一阶的 $k$ 个量子,并且量子只被这 $k$ 个相邻量子影响,即某个量子连接其他量子的最大连接数量为 $2^k$ ,若 $k=0$ ,每个量子只能孤立存在,无法与其他量子相连。如在某一阶环形结构,取44个量子,当 $k=1$ 时,每个量子只与自身最近的两个量子相连,即该量子在环形结构中只能够与自身左、右相连的两个量子相连,无法隔开某一个或多个量子进行跳跃式连接,如图2(a)所示;当 $k=2$ 时,如图2(b)所示,除了 $k=1$ 相连的两个

量子外,每个量子又随机增加连接两个量子,即每个量子最大可以连接数量为4个量子,需要隔开某一个或多个量子进行跳跃式连接,所以当量子数目为 $n$ ,在 $k=n-1$ 时,即可实现量子与群中其他量子全部相连。

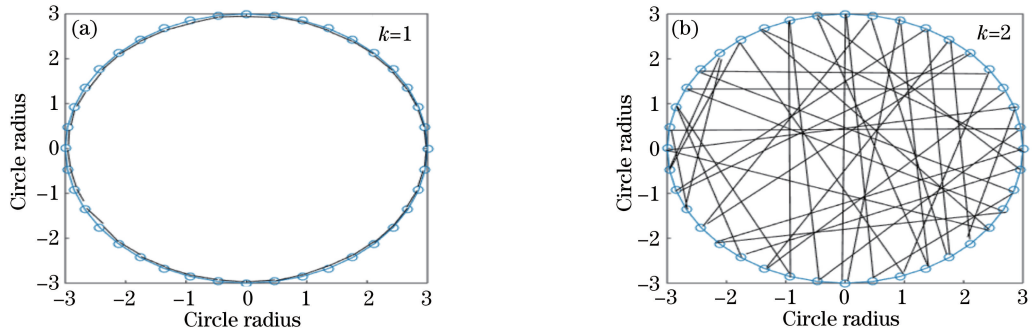


图2 同阶圆环量子之间连接结构

Fig. 2 Quantum connection structure in the same ring order

每个量子可以选择自身左右相连的两个量子作为邻居,也可以在相邻环上随机选择其他量子作为邻居,其选择相邻环或者跨环上的数量随机决定,最大数目为3。在多阶结构中,高阶包含了其对应的较低阶量子优势,即二阶包含了一阶,一阶可对二阶内的量子随机获取优势,三阶包含了二阶、一阶可对二阶、三阶内的量子随机获取优势,即逆向获取优势,如图3所示。

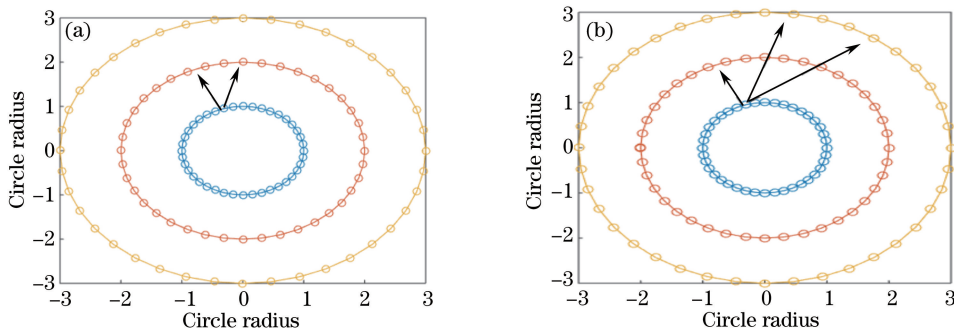


图3 不同阶圆环量子获取优势连接结构。(a)相邻环;(b)跨环

Fig. 3 Connection structure of quantum advantage acquisition in different ring orders. (a) Adjacent ring; (b) cross ring

量子群中的量子构成的每个环的优劣由环中所有量子的适应度之和确定。环的优劣决定了其在多阶环中的位置,越好的环在树中所处的层次越高。在算法运行过程中,环所在的层次根据环的优劣动态调整。

## 2.3 量子更新

### 2.3.1 各阶量子个体选择概率

多个量子群体之间的信息交流能够增加各自量子的空间多样性,从而避免量子间的单一性,用自适应比例方法选择信息共享所需量子个体数目,设第 $t$ 阶上的量子群体为 $X(t)=(x_{t,1},x_{t,2},\dots,x_{t,N})$ , $N$ 为群体规模<sup>[11]</sup>。种群中任意个体 $x_{t,k}$ 的适应度为 $f(x_{t,k})$ ,在自适应选择策略下种群个体被选择的概率 $p(x_{t,k})$ 可表示为

$$p(x_{t,k}) = \frac{f^\lambda(x_{t,k})}{\sum_{j=1}^N f^\lambda(x_{t,j})}, \quad (3)$$

式中幂指数 $\lambda$ 为

$$\lambda = \frac{k}{\left(\frac{f_{\max}}{\bar{f}}\right)}, \quad (4)$$

式中 $f_{\max}$ 为 $t$ 阶量子群中最优个体的适应度, $\bar{f}$ 为 $t$ 阶量子群的平均适应度, $k \in (0,1)$ 为动态调整系数。只有 $p(x_{t,k}) > 0.15$ 时,该量子 $x_{t,k}$ 才可能被其他低阶的量子选择,进行优势获取。

### 2.3.2 旋转门更新

采用量子个体旋转门更新

$$U(\Delta\theta) = \begin{bmatrix} \cos(t + \Delta\theta) & -\sin(t + \Delta\theta) \\ \sin(t + \Delta\theta) & \cos(t + \Delta\theta) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中  $\Delta\theta$  为旋转角度增量。根据所在阶数和信息共享因素,将  $\Delta\theta$  设置在  $(0,004\pi,0.2\pi)$  范围内动态调整,则

$$\Delta\theta = 0.1\pi - \frac{0.1\pi - 0.005\pi}{n} \times t, \quad (6)$$

式中  $n$  为总阶数<sup>[12]</sup>。

所在阶数越小,  $\Delta\theta$  变化越小,从而才能向高阶获取优势。多阶信息共享扩大空间搜索范围,保持解的多样性,对不同阶或同阶信息共享的策略,利用多个量子的多阶搜索,量子之间的联合搜索,实现信息交流,从而整体上提高算法的搜索效率。

### 2.3.3 节点信息共享概率

$t$  阶环中量子可以有不同的旋转角度增量,并且这些不同的旋转角度增量可以同时存在,而不必随着时间的推移而收敛到同一点。为了控制局部搜索中最差个体的更新程度,共享因子应该与当前阶数及全阶相结合,同阶量子分析包括同阶共享次数  $t_1 \in [1, T_1]$ ,  $T_1$  为同阶共享总次数;全阶共享次数  $t_2 \in [1, T_2]$ ,  $T_2$  为全阶共享总次数<sup>[13]</sup>。全阶共享因子  $\epsilon_1$  仅随全阶共享次数非线性动态变化,

$$\epsilon_1 = \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^{\frac{1}{t_2}} \right] \right\} \times \phi_2, \quad (7)$$

式中  $\phi_1$  和  $\phi_2$  为参数。

同阶共享因子  $\epsilon_2$  仅随同阶共享次数非线性动态变化,

$$\epsilon_2 = \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^{\frac{1}{t_1}} \right] \right\} \times \phi_2. \quad (8)$$

## 2.4 参数设置

多阶环形结构量子算法的参数设置对算法获得全局最优解及算法的快速收敛具有重要作用。以往仅依据经验设置参数,没有具体的分析,而优化算法的收敛性、稳定性均需要经过严格的分析。为了得到最佳解,对多阶环形结构量子算法的参数设置进行分析。

### 2.4.1 每阶量子数目、最大阶数

每阶量子数目较少时运算速度较快,但由于多样性差,容易引起过早收敛;若量子数目较多虽能充分探索解空间,但过多的适应值、评估和计算时间容易导致寻优效率降低。一般每阶量子数取为量子自身维数的 5~10 倍时可搜索足够的解空间,可取 60~100 个;对于大部分的问题,80 个左右已经足够取得比较好的结果;对于比较难的问题或者特定类别的问题,可以取到 150 个以上。

阶数在一定程度上影响了算法的运行效率,阶数较少时适合比较简单的函数求解问题,运行较快,但对解的精确性存在一定误差;若阶数较多时提高了解的精确性,但计算时间较长。综合考虑算法精确性和运行时间,一般可取最大阶数为 4。

### 2.4.2 $T_1$ 、 $T_2$ 参数

同阶共享总次数  $T_1$  和全阶共享总次数  $T_2$  对算法性能也产生影响,由于同一阶上的量子虽有差别,但差别几乎不大,因此同阶共享总次数  $T_1$  设置不宜过大,一般  $T_1$  可为同一阶上量子数目的 0.2 倍左右。全阶共享总次数  $T_2$  的设置不但要结合阶数,同时还要考虑全阶量子数,由于若阶数越多,全阶量子总数越多,越有利于多阶环形结构量子算法运行,因此  $T_2$  与阶数以及全阶量子总数呈反比例关系,在极限条件下即使  $T_2$  为 0,也能够找到最优解,一般  $T_2$  可为阶数的 3 次幂或全阶量子总数的 0.15 倍左右,计算时取两个数值中的最小值,若  $T_2$  阶数的 3 次幂或全阶量子总数的 0.15 倍都超过 60,则以 60 为最小值。

### 2.4.3 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 参数

当每阶量子数目最大为 80,最大阶数为 4,  $T_1$  同阶共享总次数为 15,  $T_2$  全阶共享总次数为 30 时,通过测试函数  $f(x) = x \sin 100\pi x + 1$ ,  $f(x)$  是一个多峰函数,在区间  $[-1, 2]$  上的最优解为  $x=1.8515$ ,  $f(x)=2.8512$ 。

多阶环形结构量子算法  $\phi_1=0.1, \phi_2=1.2$  时解为 2.8532;  $\phi_1=0.15, \phi_2=1.0$  时解为 2.9532;  $\phi_1=0.05, \phi_2=1.0$  时解为 2.7456;  $\phi_1=0.1, \phi_2=1.0$  时解为 2.8002;  $\phi_1=0.15, \phi_2=1.2$  时解为 2.9655;  $\phi_1=0.05, \phi_2=1.2$  时解为 2.7678。因此当  $\phi_1=0.1, \phi_2=1.2$  时解比较接近最优解。

### 3 图像纹理检测建模

#### 3.1 局部二值模型

局部二值模型定义在  $3 \times 3$  的窗口内,以窗口中心像素灰度值为阈值,将相邻周围 8 个像素进行分析<sup>[14]</sup>,大于中心像素的灰度值的像素点在其位置上设 1,否则设 0。这样得到该窗口中心像素点的局部值能够反映该区域的纹理信息,满足像素检测要求<sup>[15]</sup>,如图 4 所示。

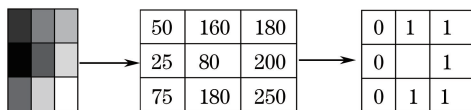


图 4 完全局部二值过程

Fig. 4 Complete local binary process

用幅度、符号、灰度级描述局部二值组成,其中幅度可表示为

$$D_1 = \sum_{p=0}^{p-1} t(g_p, g_c) 2^p, t(x, c) = \begin{cases} 1, x \geq c \\ 0, x < c \end{cases}, \quad (9)$$

符号可表示为

$$D_2 = \sum_{p=0}^{p-1} t(m_p, \tau) 2^p, t(x, c) = \begin{cases} 1, x \geq c \\ 0, x < c \end{cases}, \quad (10)$$

灰度级可表示为

$$D_3 = t(g_c, c_1), \quad (11)$$

式中  $g_c$  为中心像素点,  $g_p$  为  $g_c$  以  $r$  为半径的环形邻域像素点,  $p$  为该环形邻域像素点个数,  $m_p$  为  $g_p, g_c$  差值的绝对值,  $\tau$  为幅度值  $m_p$  的均值,  $c_1$  为全局图像灰度级的平均值,  $t(x, c)$  函数当环形邻域灰度均值  $x$  大于阈值  $c$  时,函数值取 1,否则,函数值取 0。

用邻域灰度的均方差  $\sigma$  描述纹理复杂度

$$\sigma(i, j) = \frac{1}{8} \times \left\{ \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 [f(i, j) - f(i+m, j+n)]^2 \right\}, \quad (12)$$

式中  $f(i, j)$  为图像  $f$  在  $(i, j)$  的像素的灰度值。

像素复杂度作为量子个体的适应度,若图像纹理  $\sigma \geq 0.11$ ,即是量子获得了最优解,若  $\sigma < 0.11$  可认为非纹理区域,或该邻域无纹理。

#### 3.2 算法流程

- 1) 输入待检测图像;
- 2) 由(3)式获得参与数据优化的量子数,按(5)~(6)式更新量子群;
- 3) 通过全阶共享因子、同阶共享因子更新量子群;
- 4) 由(9)~(11)式获得图像局部二值;
- 5) 计算图像局部纹理复杂度,若满足(12)式中  $\sigma > 0.11$  的要求,则进行步骤 6),否则进行步骤 2);
- 6) 输出检测图像。

### 4 实验仿真

#### 4.1 视觉仿真

本文算法每阶量子数目最大为 80,最大阶数为 4,同阶共享总次数  $T_1=15$ ,全阶共享总次数  $T_2=30$ ,参数  $\phi_1=0.1, \phi_2=1.2$ 。其他算法分别有:灰度共生矩阵算法,矩阵的方向取  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  四个方向;全连接

结构量子算法,量子数目为 400;四簇拓扑结构量子算法,量子数目为 400;栅格邻域结构量子算法,量子数目为 400;对称分布结构量子算法,量子数目为 400。仿真环境为 CPU 3.06 GHz,内存 4 GB,采用 Matlab 7.0 软件编程实现对比实验分析,分别对树叶、花朵进行检测,如图 5(a)、图 6(a)所示。图 5(b)、图 6(b)为灰度共生矩阵算法检测结果;图 5(c)、图 6(c)为全连接结构量子算法检测结果;图 5(d)、图 6(d)为四簇拓扑结构量子算法检测结果;图 5(e)、图 6(e)为栅格邻域结构量子算法检测结果;图 5(f)、图 6(f)为对称分布结构量子算法检测结果;图 5(g)、图 6(g)为多阶环形结构量子算法检测结果。

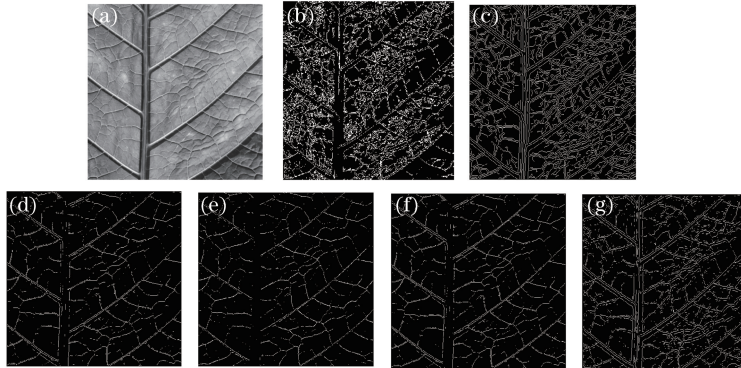


图 5 不同算法对树叶纹理检测结果

Fig. 5 Leaf texture detection results by different algorithms

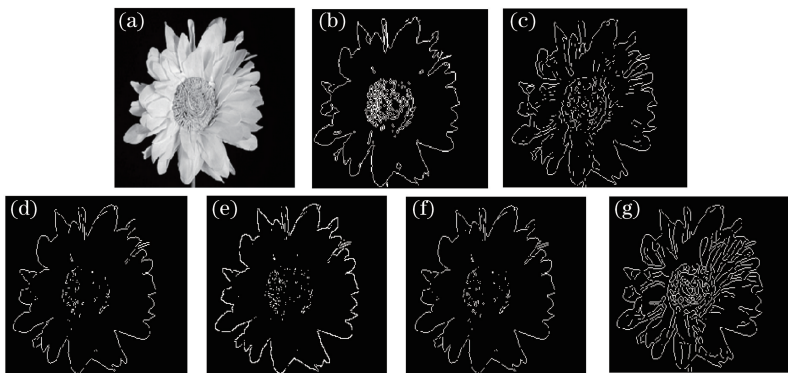


图 6 不同算法对花朵纹理检测结果

Fig. 6 Flower texture detection results by different algorithms

从检测结果可以看出,多阶环形结构量子算法检测出的纹理清晰,纹理连贯性较好,其他算法检测有断点,或者存在大量的错误检测点,无法检测出更多的纹理细节。这是因为本文算法根据多阶环的优劣决定了环在多阶环中的位置,越好的环在树中所处的层次越高,在算法运行过程中,环所在的层次根据环的优劣动态调整。

## 4.2 算法性能分析

### 4.2.1 处理时间

在不同算法对图 5(a)、图 6(a)的处理中,为减少误差,每种算法各进行 10 次实验,每次实验记录对图 5(a)、图 6(a)处理的平均时间,其结果如图 7 所示。

### 4.2.2 信息熵

为比较不同算法对图像的纹理检测结果,选择图像信息熵进行定量分析,同时为减少误差,每种算法各进行 10 次实验,每次实验记录对图 5(a)、图 6(a)的平均熵值,其结果如图 8 所示。

由图 8 可知,本文算法对纹理检测的信息熵最大。

### 4.2.3 平均梯度

平均梯度能够检测出图像中微小纹理的变化,图像中某一个方向灰度级变化率越大,则梯度越大,平均梯度可表示为

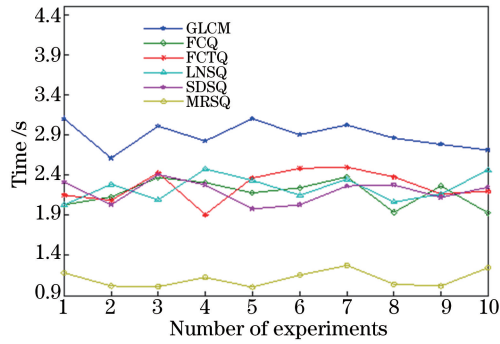


图 7 不同算法完成检测所需时间

Fig. 7 Detection time by different algorithms

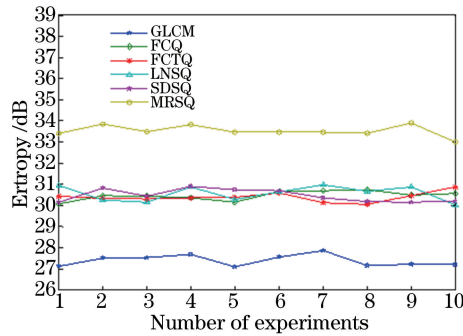


图 8 不同算法检测的信息熵

Fig. 8 Information entropy by different algorithms

$$\bar{G} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left\{ \left[ \frac{\left( \frac{\partial f_{i,j}}{\partial x_i} \right)^2 + \left( \frac{\partial f_{i,j}}{\partial y_j} \right)^2}{2} \right] \right\}^{1/2}, \quad (13)$$

式中  $m, n$  分别为影像的宽和高,  $f_{i,j}$  为影像像素  $(i, j)$  的灰度值。

平均梯度值越大, 图像纹理层次越多, 就越显得清晰。不同算法对图像平均梯度计算结果如图 9 所示, 同时为减少误差, 每种算法各进行 10 次实验, 每次实验记录对图 5(a)、图 6(a) 的平均结果。

由图 9 可知, 本文算法平均梯度较大, 因此图像层次会越多, 检测越清晰。

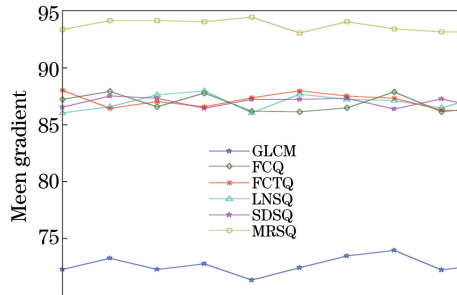


图 9 不同算法对图像平均梯度计算结果

Fig. 9 Mean gradient of the image by different algorithms

## 5 结 论

采用多阶环形结构量子算法检测图像纹理, 与灰度共生矩阵算法、全连接结构量子算法、四簇拓扑结构量子算法、栅格邻域结构量子算法、对称分布结构量子算法检测相比。本文算法检测结果纹理清晰, 纹理连贯性较好, 同时处理时间、熵值、平均梯度指标较好, 为量子算法在图像纹理检测提供了一种新思路。但是对

于复杂的问题,如何设置最佳阶数、最外环阶量子数、每一阶量子如何跳跃式跨阶连接有待进一步研究。

### 参 考 文 献

- 1 Wang Zhishe, Yang Fengbao, Chen Lei, *et al.* SAR and visible image enhanced fusion based on texture segmentation and Top-Hat transformation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(10): 1010002.  
王志社, 杨风暴, 陈磊, 等. 基于纹理分割和 Top-Hat 变换的合成孔径雷达与可见光图像增强融合[J]. *光学学报*, 2014, 34(10): 1010002.
- 2 Yan Xin, Dong Junqing, Liu Weidong, *et al.* Research on texture characteristics analysis of ancient glaze optical coherence tomographic image[J]. *Chinese J Lasers*, 2015, 42(5): 0508008.  
严鑫, 董俊卿, 刘卫东, 等. 古代瓷釉光学相干层析图像的纹理特征分析研究[J]. *中国激光*, 2015, 42(5): 0508008.
- 3 Xiao Degui, Xin Chen, Zhang Ting, *et al.* Saliency texture structure descriptor and its application in pedestrian detection[J]. *Journal of Software*, 2014, 25(3): 675-689.  
肖德贵, 辛晨, 张婷, 等. 显著性纹理结构特征及车载环境下的行人检测[J]. *软件学报*, 2014, 25(3): 675-689.
- 4 Novotny M A, Solomon L, Inkoom G. Quantum transport through a fully connected network with disorder[J]. *Physics Procedia*, 2014, 53: 71-74.
- 5 Tan X Q, Zhang X Q, Fang J B. Perfect quantum teleportation by four-particle cluster state[J]. *Information Processing Letters*, 2016, 116(5): 347-350.
- 6 Meleshenko P A, Klinskikh A F. "Aharonov-Bohm antiferromagnetism" and compensation points in the lattice of quantum rings[J]. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2011, 323(21): 2663-2668.
- 7 Jung Y D, Hong W P. Quantum and geometric effects on the symmetric and anti-symmetric modes of the surface plasma wave[J]. *Physics Letters A*, 2013, 377(7): 560-563.
- 8 Deville Y. ICA-based and second-order separability of nonlinear models involving reference signals: General properties and application to quantum bits[J]. *Signal Processing*, 2012, 92(8): 1785-1795.
- 9 Shi Song, Chen Yun. Dynamic particle swarm optimization algorithm with hierarchical ring topology[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2013, 49(8): 1-5.  
石松, 陈云. 层次环形拓扑结构的动态粒子群算法[J]. *计算机工程与应用*, 2013, 49(8): 1-5.
- 10 Xu Xun, Lu Haiyan, Xu Xiangping. Self-adaptive velocity PSO algorithm based on ring neighborhood topology[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2015, 51(18): 32-37.  
徐迅, 鲁海燕, 徐向平. 基于环形邻域拓扑的自适应速度 PSO 算法[J]. *计算机工程与应用*, 2015, 51(18): 32-37.
- 11 Ding Jian, Liu Jiang, Liu Yunjie. Virtual network embedding for multi-topology virtual network request[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2015, 38(3): 88-93.  
丁健, 刘江, 刘韵洁. 一种面向多拓扑类型请求的虚拟网络映射算法[J]. *北京邮电大学学报*, 2015, 38(3): 88-93.
- 12 Fan Fuyou, Yang Guowu, Le Qianqi, *et al.* Optimized coverage algorithm of wireless video sensor network based on quantum genetic algorithm[J]. *Journal on Communications*, 2015, 36(6): 94-104.  
樊富有, 杨国武, 乐千杞, 等. 基于量子遗传算法的无线视频传感网络优化覆盖算法[J]. *通信学报*, 2015, 36(6): 94-104.
- 13 Liu Liqun, Wang Lianguo, Han Junying, *et al.* Shuffled frog leaping algorithm based on global sharing factor[J]. *Computer Engineering*, 2013, 39(10): 162-166.  
刘立群, 王联国, 韩俊英, 等. 基于全局共享因子的混合蛙跳算法[J]. *计算机工程*, 2013, 39(10): 162-166.
- 14 Tao Huawei, Zhao Li, Xi Ji, *et al.* Fruits and vegetables recognition based on color and texture features[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(16): 305-311.  
陶华伟, 赵力, 奚吉, 等. 基于颜色及纹理特征的果蔬种类识别方法[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(16): 305-311.
- 15 Tian Lifang, Zhou Yuan. Blind image restoration research based on quantum bit code algorithm[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2015, 52(2): 021002.  
田丽芳, 周原. 基于量子比特编码算法的图像盲复原重建研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2015, 52(2): 021002.