

# 基于量子衍生方法的空域滤波图像增强算法<sup>①</sup>



勾 荣

(江苏开放大学 信息工程学院, 南京 210019)

通讯作者: 勾 荣, E-mail: frzn\_920@163.com

**摘 要:** 借鉴量子衍生方法, 将归一化图像表示为量子比特形式, 利用图像像素点与其邻域像素点灰度相关性强的特点, 提出了一种基于量子衍生方法的空域滤波图像增强算法, 并选择  $3 \times 3$  和  $5 \times 5$  两种大小的空域滤波模板, 进行了算法的仿真和比较. 最后, 引入客观评价指标图像的熵, 对算法的图像增强效果进行评价. 结果表明, 从主观视觉和客观评价指标两方面, 该算法的图像增强效果都优于传统图像增强算法. 针对能见度和对比度较低的图像, 相比  $3 \times 3$  大小的空域滤波模板,  $5 \times 5$  大小的空域滤波模板时, 算法的图像增强效果更佳, 图像的熵更大.

**关键词:** 量子衍生; 图像增强; 空域滤波; 图像的熵

引用格式: 勾荣. 基于量子衍生方法的空域滤波图像增强算法. 计算机系统应用, 2020, 29(10): 179-184. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/7549.html>

## Image Enhancement Algorithm of Spatial Filtering Based on Quantum-Inspired Method

GOU Rong

(School of Information Mechanical and Electrical Engineering, Jiangsu Open University, Nanjing 210019, China)

**Abstract:** Using the idea of quantum-inspired method, the normalized image pixels are represented in the form of quantum bits, taking full advantage of the strong correlation between a pixel and other pixels in its neighboring field, a spatial filtering image enhancement algorithm based on the quantum-inspired method is proposed, and the algorithm is simulated and compared for two spatial filtering templates:  $3 \times 3$  and  $5 \times 5$ . Finally, image entropy is introduced to evaluate the image enhancement effect of the algorithm. In terms of the subjective vision and the objective evaluation index, the results show that the algorithm is superior to the traditional image enhancement algorithm. For the images with low visibility and contrast, compared with the size of  $3 \times 3$  spatial filtering template, when the size of spatial filtering template is  $5 \times 5$ , the effect of the algorithm is better and the entropy of the corresponding result image is larger.

**Key words:** quantum-inspired; image enhancement; spatial filter; image entropy

图像增强, 强调突出图像中的有用信息, 削弱去除图像中的无用信息. 通常, 图像增强算法分为空域法和频域法两大类<sup>[1]</sup>. 空域法, 直接对图像像素点进行处理, 修改像素点的灰度值, 改善或拉伸图像的对比度, 如直方图均衡法和灰度变换法等<sup>[2,3]</sup>. 频域法, 先对图像进行

频率域的转换, 再增强或抑制图像中的某些特定频率分量, 如去除图像噪声增强图像平滑信息的低通滤波法和锐化图像边缘的高通滤波法等<sup>[4,5]</sup>.

利用量子系统规律, 借鉴量子信息理论的基本概念和形式化数学体系, 量子衍生方法是在经典计算机

① 基金项目: 江苏省自然科学基金 (BK20151464); 江苏省属高校自然科学研究项目 (15KJB510004); 江苏开放大学 (江苏城市职业学院)“十三五”科研规划课题 (16SSW-Y-007)

Foundation item: Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20151464); Natural Science Research Project of Jiangsu Provincial Higher Educations (15KJB510004); Scientific Research Plan of Jiangsu Open University (The City Vocational College of Jiangsu) during Thirteenth Five-Year Plan (16SSW-Y-007)

收稿时间: 2019-12-13; 修改时间: 2020-01-08, 2020-01-22, 2020-02-25; 采用时间: 2020-03-11; csa 在线出版时间: 2020-09-30

上实现的信息处理方法<sup>[6]</sup>。目前,量子衍生方法已经与人工智能、信号处理、图像处理等具体学科相结合,是量子计算领域的重要发展方向之一<sup>[7]</sup>,研究内容主要包括量子衍生信号处理<sup>[8,9]</sup>、量子衍生图像处理<sup>[10-12]</sup>、量子衍生神经网络<sup>[13,14]</sup>等。

Eldar YC等<sup>[15]</sup>利用量子力学数学框架和量子信息理论的基本概念及规律,首次提出量子信号处理(Quantum Signal Processing, QSP)的概念,并设计了一种量子衍生信号处理算法。结合量子智能算法, Dey S等<sup>[16]</sup>提出了一种量子衍生启发式多阈值图像分割方法。借鉴量子理论,针对传统中值滤波算法的不足,谢可夫等<sup>[17]</sup>提出了一种改进的图像中值滤波算法,将图像中值滤波窗口中的像素点用量子比特形式表示,并进行量子哈达玛变换,实现了自适应中值滤波。算法的仿真结果表明,该算法具有更好的滤波效果。付晓薇等<sup>[18]</sup>针对传统医学图像增强算法对噪声敏感且易陷入欠增强和过增强等问题,利用量子信号处理的基本原理,提出了一种基于量子概率统计的图像增强算子。相比传统图像增强方法,算法有效地提高了医学图像的质量。利用量子衍生理论,付晓薇等<sup>[19]</sup>针对现有医学超声图像去斑方法的不足,提出了一种基于局部熵的量子衍生医学超声图像去斑算法。相比已有方法,算法能够更加有效地滤除医学超声图像中的斑点噪声,并保留图像中的细节信息。

借鉴量子衍生图像处理算法思想,本文提出了一种基于量子衍生方法的空域滤波图像增强算法,分别选择 $3 \times 3$ 和 $5 \times 5$ 两种不同大小的空域滤波模板,对图像的边缘和平滑区域信息进行增强处理,并与传统图像增强算法进行了比较。

## 1 量子信息基础

比特是经典信息论中的基本概念,用来描述一种状态,通常用二进制数据0和1表示。相应地,量子信息论<sup>[20,21]</sup>中,量子比特也用来描述一种状态,分别用基态 $|0\rangle$ 和基态 $|1\rangle$ 表示。其中, $|0\rangle$ 表示0, $|1\rangle$ 表示1。一个量子比特位 $|\varphi\rangle$ ,可以表示为:

$$|\varphi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle \quad (1)$$

式中, $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 是正交基态,复系数 $a$ 和 $b$ 分别是正交基态 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的概率幅,且满足归一化公式 $|a|^2 + |b|^2 = 1$ 。当 $a = 0$ 或 $b = 0$ 时,量子比特退化为经典比特。因此,经典比特是量子比特的特殊情况。

与经典比特只有0和1两种状态不同,量子比特 $|\varphi\rangle$ 表示的是基态 $|0\rangle$ 和基态 $|1\rangle$ 这两种状态的任意线性组合。因此,量子比特也称为量子叠加态。量子比特的状态不确定,只有进行量子测量时,其状态才会坍塌到一个确定的状态。当对量子比特 $|\varphi\rangle$ 进行量子测量时,获得基态 $|0\rangle$ 的概率为 $|a|^2$ ,获得基态 $|1\rangle$ 的概率为 $|b|^2$ 。

推广之,若一个量子系统有 $n$ 个量子比特位,则第 $i$ 个量子比特位的状态为:

$$|\varphi_i\rangle = a_i|0\rangle + b_i|1\rangle \quad (2)$$

量子系统 $|\varphi\rangle$ 可用 $n$ 个量子比特位表示为:

$$\begin{aligned} |\varphi\rangle &= |\varphi_1\rangle \otimes |\varphi_2\rangle \otimes |\varphi_3\rangle \otimes \cdots \otimes |\varphi_n\rangle \\ &= (a_1 a_2 \cdots a_n) |00 \cdots 0\rangle + (a_1 a_2 \cdots b_1) |00 \cdots 1\rangle \\ &\quad + \cdots + (b_1 b_2 \cdots b_n) |11 \cdots 1\rangle = \sum_{i=0}^{2^n-1} \omega_i |i_b\rangle \end{aligned} \quad (3)$$

式中,符号 $\otimes$ 表示直积, $|i_b\rangle$ 为 $n$ 位量子系统 $|\varphi\rangle$ 的第 $i$ 个基态, $\omega_i$ 为第 $i$ 个基态的概率幅, $|\omega_i|^2$ 为获得第 $i$ 个基态的概率,且满足归一化公式:

$$\sum_{i=1}^{2^n-1} |\omega_i|^2 = 1 \quad (4)$$

## 2 图像量子比特表示

先对图像进行归一化处理,再进行量子比特形式的表示,通常表示为量子叠加态的形式。这里,设原始图像为 $f(m,n)$ , $(m,n) \in Z^2$ 。设归一化处理后的图像为 $g(m,n)$ ,则 $g(m,n) \in [0,1]$ 。图像归一化处理的公式为:

$$g(m,n) = \frac{f(m,n) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \quad (5)$$

式中, $f_{\max}$ 是原始图像 $f(m,n)$ 中像素点灰度级的最大值, $f_{\min}$ 是原始图像 $f(m,n)$ 中像素点灰度级的最小值。这样,归一化图像 $g(m,n)$ 就可以表示为量子叠加态的量子比特形式:

$$|g(m,n)\rangle = \sqrt{1-g(m,n)}|0\rangle + \sqrt{g(m,n)}|1\rangle \quad (6)$$

式中, $\sqrt{1-g(m,n)}$ 和 $\sqrt{g(m,n)}$ 分别为基态 $|0\rangle$ 和基态 $|1\rangle$ 的概率幅,且满足归一化公式:

$$(\sqrt{1-g(m,n)})^2 + (\sqrt{g(m,n)})^2 = 1 \quad (7)$$

可见,式(6)所示的归一化图像 $g(m,n)$ 的量子比特表示 $|g(m,n)\rangle$ ,是符合量子比特定义的。

## 3 量子衍生空域滤波图像增强

空域滤波法,使用空域滤波模板直接对图像像素

点进行处理<sup>[22]</sup>,属于空域法.空域滤波模板的大小,一般为 $3 \times 3$ 或 $5 \times 5$ .

如图1所示,是 $3 \times 3$ 大小的空域滤波模板.其中,模板中心的模板系数为 $K_0$ ,模板中心邻域的模板系数为 $K_1 \sim K_8$ .

$K_6$	$K_5$	$K_4$
$K_7$	$K_0$	$K_3$
$K_8$	$K_1$	$K_2$

图1  $3 \times 3$ 空域滤波模板

使用空域滤波模板对图像进行处理时,将模板中心对准图像中的某一像素点,模板全部覆盖在图像上,模板系数与模板对应覆盖的图像像素点的灰度值相乘,再把所有相乘结果相加,计算结果作为模板中心覆盖图像像素点的新灰度值.然后,再将模板从左到右,从上到下,在整幅图像上依次遍历.最终,除了模板无法完全覆盖的图像边缘部分外,图像像素点的灰度值都将得到更新.显然,空域滤波模板越大,参与运算的图像像素点也越多,图像处理算法的运行时间也越长.

本文提出的基于量子衍生方法的空域滤波图像增强算法,使用空域滤波模板对量子比特表示的图像进行处理,在模板中心点邻域的水平方向( $0^\circ$ 方向)、对角线方向( $45^\circ$ 方向)、垂直方向( $90^\circ$ 方向),以及对角线方向( $135^\circ$ 方向)等4个方向,分别对图像的边缘信息和平滑区域信息进行增强处理.空域滤波模板的系数全部取1.最终,取4个方向图像增强结果的平均值,作为模板中心点对准图像像素点的新灰度值.

### 3.1 $3 \times 3$ 量子衍生空域滤波图像增强

量子衍生图像处理算法中,图像像素点用量子比特形式表示.如图2所示,是与图1的 $3 \times 3$ 空域滤波模板对应的量子比特形式表示的图像像素点.其中,图1的模板中心点对准图2的像素点 $|g(m, n)\rangle$ .

$ g(m-1, n-1)\rangle$	$ g(m-1, n)\rangle$	$ g(m-1, n+1)\rangle$
$ g(m, n-1)\rangle$	$ g(m, n)\rangle$	$ g(m, n+1)\rangle$
$ g(m+1, n-1)\rangle$	$ g(m+1, n)\rangle$	$ g(m+1, n+1)\rangle$

图2  $3 \times 3$ 模板对应的图像像素点

为方便起见,这里,将量子比特形式表示的图像像素点进行简写表示,如像素点 $|g(m, n)\rangle$ ,可以简写为 $|g_{m,n}\rangle$ .

在模板中心点邻域的水平方向( $0^\circ$ 方向),对应像素点 $|g(m, n-1)\rangle$ 、 $|g(m, n)\rangle$ 和 $|g(m, n+1)\rangle$ ,根据量子力学理论,这3个像素点构成了一个三量子位子系统,其状态表示如下:

$$\begin{aligned}
 |g_{m,n-1}g_{m,n}g_{m,n+1}\rangle &= |g_{m,n-1}\rangle \otimes |g_{m,n}\rangle \otimes |g_{m,n+1}\rangle \\
 &= \sqrt{(1-g_{m,n-1})}\sqrt{(1-g_{m,n})}\sqrt{(1-g_{m,n+1})}|000\rangle \\
 &\quad + \sqrt{(1-g_{m,n-1})}\sqrt{(1-g_{m,n})}\sqrt{g_{m,n+1}}|001\rangle \\
 &\quad + \sqrt{(1-g_{m,n-1})}\sqrt{g_{m,n}}\sqrt{(1-g_{m,n+1})}|010\rangle \\
 &\quad + \sqrt{(1-g_{m,n-1})}\sqrt{g_{m,n}}\sqrt{g_{m,n+1}}|011\rangle \\
 &\quad + \sqrt{g_{m,n-1}}\sqrt{(1-g_{m,n})}\sqrt{(1-g_{m,n+1})}|100\rangle \\
 &\quad + \sqrt{g_{m,n-1}}\sqrt{(1-g_{m,n})}\sqrt{g_{m,n+1}}|101\rangle \\
 &\quad + \sqrt{g_{m,n-1}}\sqrt{g_{m,n}}\sqrt{(1-g_{m,n+1})}|110\rangle \\
 &\quad + \sqrt{g_{m,n-1}}\sqrt{g_{m,n}}\sqrt{g_{m,n+1}}|111\rangle \\
 &= \sum_{i=0}^7 \omega_i |i\rangle
 \end{aligned} \tag{8}$$

式(8)中,共有8个基态. $\omega_i$ 是基态 $|i\rangle$ 的概率幅, $\omega_i^2$ 是获得基态 $|i\rangle$ 的概率.

图像像素点灰度值发生跳变时,如从0跳变为1,或从1跳变为0时,表示图像的边缘信息.图像像素点灰度值没有跳变时,如灰度值保持为1,表示图像的平滑区域信息.因此,式(8)所示三量子位子系统的8个基态中,基态 $|001\rangle$ 、基态 $|011\rangle$ 、基态 $|100\rangle$ 和基态 $|110\rangle$ ,是表示图像边缘信息的基态,相应的基态获取概率分别为 $\omega_1^2$ 、 $\omega_3^2$ 、 $\omega_4^2$ 、 $\omega_6^2$ .基态 $|101\rangle$ 和基态 $|111\rangle$ ,表示图像的平滑区域信息,获取这两个基态的概率为 $\omega_2^2$ 和 $\omega_7^2$ .

这样, $3 \times 3$ 空域滤波模板中心点邻域的水平方向( $0^\circ$ 方向)的图像增强结果,如下所示:

$$E_{00}(m, n) = \omega_1^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 + \omega_5^2 + \omega_6^2 + \omega_7^2 \tag{9}$$

再根据式(8)中各个基态的概率幅,由式(9)推导可得:

$$E_{00}(m, n) = |g_{m,n-1}\rangle + |g_{m,n+1}\rangle - |g_{m,n-1}\rangle \times |g_{m,n+1}\rangle \tag{10}$$

同理,可对 $3 \times 3$ 空域滤波模板中心点邻域其余3个方向,分别进行类似的量子衍生图像增强处理.最终,取4个方向图像增强结果的平均值,作为图像像素点 $|g(m, n)\rangle$ 的新灰度值.

### 3.2 $5 \times 5$ 量子衍生空域滤波图像增强

空域滤波模板的大小为 $5 \times 5$ 时,对应量子比特形

式表示的图像像素点,如图3所示,模板中心点与像素点 $|g(m,n)\rangle$ 与对应。

$ g(m-2, n-2)\rangle$	$ g(m-2, n-1)\rangle$	$ g(m-2, n)\rangle$	$ g(m-2, n+1)\rangle$	$ g(m-2, n+2)\rangle$
$ g(m-1, n-2)\rangle$	$ g(m-1, n-1)\rangle$	$ g(m-1, n)\rangle$	$ g(m-1, n+1)\rangle$	$ g(m-1, n+2)\rangle$
$ g(m, n-2)\rangle$	$ g(m, n-1)\rangle$	$ g(m, n)\rangle$	$ g(m, n+1)\rangle$	$ g(m, n+2)\rangle$
$ g(m+1, n-2)\rangle$	$ g(m+1, n-1)\rangle$	$ g(m+1, n)\rangle$	$ g(m+1, n+1)\rangle$	$ g(m+1, n+2)\rangle$
$ g(m+2, n-2)\rangle$	$ g(m+2, n-1)\rangle$	$ g(m+2, n)\rangle$	$ g(m+2, n+1)\rangle$	$ g(m+2, n+2)\rangle$

图3 5×5模板对应的图像像素点

模板中心点邻域的水平方向(0°方向),对应像素点 $|g_{m,n-2}\rangle$ 、 $|g_{m,n-1}\rangle$ 、 $|g_{m,n}\rangle$ 、 $|g_{m,n+1}\rangle$ 和 $|g_{m,n+2}\rangle$ ,根据量子力学理论,构成了一个五量子位子系统,其状态表示如下:

$$\begin{aligned}
 & |g_{m,n-2}g_{m,n-1}g_{m,n}g_{m,n+1}g_{m,n+2}\rangle \\
 & = |g_{m,n-2}\rangle \otimes |g_{m,n-1}\rangle \otimes |g_{m,n}\rangle \otimes |g_{m,n+1}\rangle \otimes |g_{m,n+2}\rangle \\
 & = \sqrt{(1-g_{m,n-2})} \sqrt{(1-g_{m,n-1})} \times \sqrt{(1-g_{m,n})} \sqrt{(1-g_{m,n+1})} \\
 & \quad \times \sqrt{(1-g_{m,n+2})} |00000\rangle + \dots \\
 & \quad + \sqrt{g_{m,n-2}} \sqrt{g_{m,n-1}} \sqrt{g_{m,n}} \sqrt{g_{m,n+1}} \sqrt{g_{m,n+2}} |11111\rangle \\
 & = \sum_{i=0}^{31} \omega_i |i\rangle
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

式(11)中,共有32个基态。 $\omega_i$ 是基态 $|i\rangle$ 的概率幅, $\omega_i^2$ 是获取基态 $|i\rangle$ 的概率。同样,对表示图像边缘信息和图像平滑区域信息的基态,进行增强处理。对不包含图像边缘信息和图像平滑区域信息的基态,如基态 $|00000\rangle$ 和基态 $|00100\rangle$ 等,不做增强处理。

然后,再分别对模板中心点邻域其它3个方向像素点构成的3个五量子位子系统中,表示图像边缘信息和图像平滑区域信息的基态进行增强处理。最终,取模板中心点邻域4个方向图像增强结果的平均值,作为像素点 $|g(m,n)\rangle$ 的新灰度值。

## 4 算法仿真与比较

### 4.1 与传统图像增强算法比较

验证本文算法的图像增强效果,并与直方图均衡、灰度变换和Laplacian增强等传统图像增强算法进行

比较。选择Matlab图像处理工具箱中的图像pout作为测试图像,算法仿真结果如图4所示。

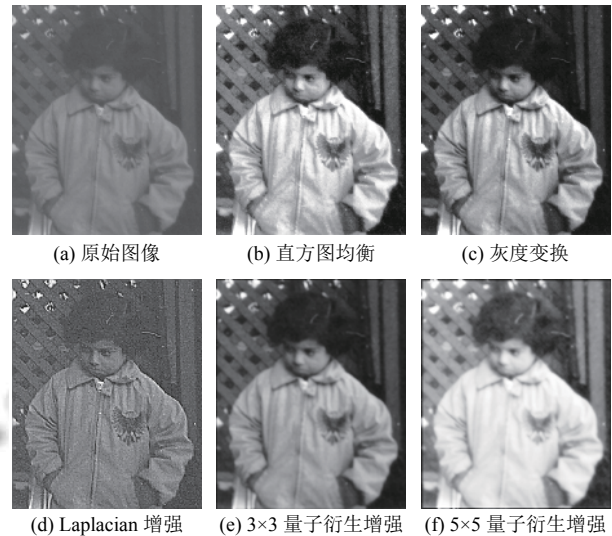


图4 图像pout的增强效果比较

通常,Laplacian算子用于锐化增强图像的边缘纹理等细节信息,若以适当比例线性叠加原始图像和提取出来的细节信息,也可以实现图像的增强处理。这里,Laplacian增强算法的空域滤波模板系数为 $[-1 -1 -1; -1 9 -1; -1 -1 -1]$ 。

如图4可见,原始图像虽然有些暗,但能看清图像中的人物和背景。直方图均衡和灰度变换处理后,图像对比度改善,图像亮度增加,图像视觉效果改善。Laplacian增强算法处理后,图像中物体的边缘得到了锐化增强。3×3量子衍生空域滤波图像增强处理后,图像亮度提升,图像视觉效果较好。5×5量子衍生空域滤波图像增强处理后,图像亮度改善更为明显。

### 4.2 大小不同的空域滤波模板

选择能见度和对比度较低的两幅遥感图像作为测试图像,比较3×3和5×5两种大小的空域滤波模板时,本文算法的图像增强效果,并与Laplacian增强算法进行比较。这里,Laplacian增强算法的空域滤波模板系数仍为 $[-1 -1 -1; -1 9 -1; -1 -1 -1]$ 。算法仿真结果如图5和图6所示。

两幅遥感图像中,遥感图像1包含了大量地面房屋建筑、道路和汽车等。遥感图像2包含了大片山岭、地面房屋和道路等。由于能见度和对比度较低,两幅遥感图像较暗,很难辨别出图像中的物体和细节信息。

如图5所示,Laplacian增强算法处理后,图像中物

体的边缘得到了锐化增强,但图像仍然较暗.  $3 \times 3$  量子衍生空域滤波图像增强处理后,图像的亮度增加,图像的视觉效果有了明显改善.  $5 \times 5$  量子衍生空域滤波图像增强处理后,图像亮度进一步增加,图像的视觉效果较好.

如图6所示,相比遥感图像1,遥感图像2更暗,物体细节更难辨别,图像视觉效果不佳. Laplacian 增强算法处理后,图像仍然较暗,图像视觉效果没有明显改善.  $3 \times 3$  量子衍生空域滤波图像增强处理后,图像亮度增加,图像视觉效果有所改善.  $5 \times 5$  量子衍生空域滤波图像增强处理后,图像亮度明显增加,图像中可辨别的区域和物体细节增多,图像视觉效果相对较好.

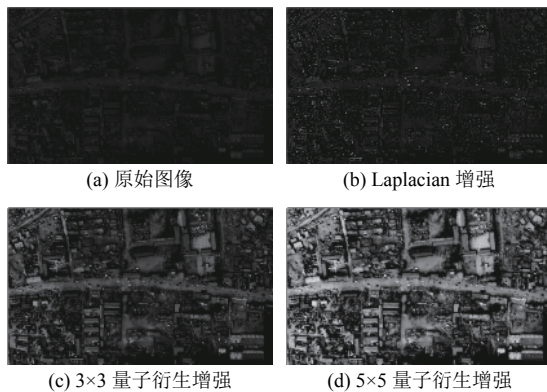


图5 遥感图像1的增强效果比较

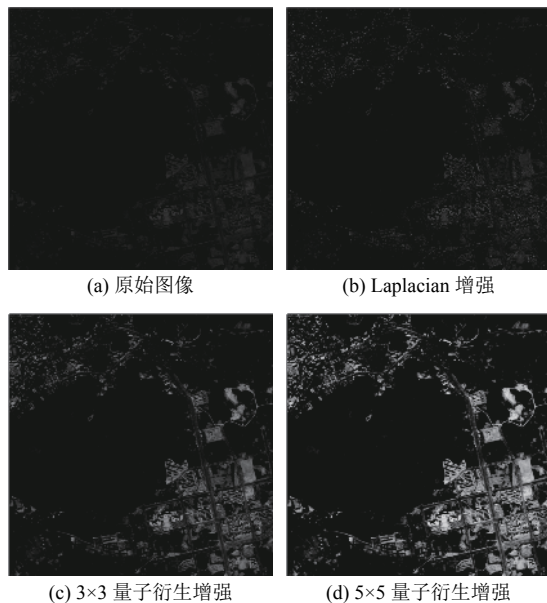


图6 遥感图像2的增强效果比较

### 4.3 图像的熵

对于图像增强算法增强效果的评价,一般根据特

定的用途和不同的应用场合,以人眼的主观视觉感受为准,并无统一的评价标准.除了主观评价外,这里,引入客观评价指标图像的熵,作为衡量图像增强算法增强效果的参考.图像的熵越大,表示图像的信息量越大,图像中包含的纹理细节和边缘信息越多.计算图像的熵,公式如下:

$$Entropy = - \sum p_{ij} \log_2 p_{ij} \quad (12)$$

其中,  $p_{ij}$  代表图像中像素点灰度级的出现概率.根据式(12),计算图4中原始图像和图像增强算法处理后图像的熵,计算结果如表1所示.

表1 图像的熵值计算结果(图4)

图像与算法类型	图像的熵
原始图像	5.7599
直方图均衡	5.4592
灰度变换	5.6841
Laplacian增强	6.9478
$3 \times 3$ 量子衍生增强	7.5197
$5 \times 5$ 量子衍生增强	7.5785

由表1可见,图4中原始图像的熵为5.7599.直方图均衡、灰度变换和Laplacian增强等传统图像增强算法中,Laplacian增强后,图像的熵增加为6.9478,图像的熵最大,图像增强效果最佳.  $3 \times 3$ 和  $5 \times 5$ 量子衍生空域滤波图像增强处理后,图像的熵分别增加为7.5197和7.5785.可见,从图像的熵这个客观评价指标出发,与传统图像增强算法的图像增强效果相比,量子衍生空域滤波图像增强算法的效果更好,  $5 \times 5$ 量子衍生空域滤波图像增强算法的效果最佳.

根据式(12),再分别计算图5和图6中各幅图像的熵,计算结果如表2所示.

表2 图像的熵值计算结果(图5和图6)

图像与算法类型	图5	图6
原始图像	4.6206	2.3414
Laplacian增强	4.4618	2.1008
$3 \times 3$ 量子衍生增强	6.4256	3.3005
$5 \times 5$ 量子衍生增强	7.3877	3.9776

由表2可见,两幅遥感图像原始图像的熵都较小,遥感图像2原始图像的熵只有2.3414. Laplacian增强处理后,两幅遥感图像的熵都没有增加,还略有下降.量子衍生空域滤波图像增强处理后,两幅遥感图像的熵都有明显增加.对应图5和图6,可以看出,由于原始图像的熵较小,两幅遥感图像,特别是遥感图像2,由于

图像较暗,几乎是看不清楚图像中的物体细节的.当遥感图像的熵增加后,两幅遥感图像的视觉效果也的确都有了显著改善.

## 5 结论与展望

本文借鉴量子衍生方法,对归一化处理后的图像像素点进行量子比特形式的表示,充分利用图像像素点与其邻域像素点灰度相关性强的特点,提出了一种基于量子衍生方法的空域滤波图像增强算法.算法的仿真结果表明,相比传统图像增强算法,本文算法的图像增强效果更为明显.针对能见度和对比度较低的图像,对于 $3\times 3$ 和 $5\times 5$ 两种不同大小的空域滤波模板, $5\times 5$ 量子衍生空域滤波图像增强的效果更好,算法处理后的图像的熵也更大.

对于数据量较大的图像而言,如遥感图像,图像的存储、显示,以及相应的图像处理算法的运算处理时间都较长.因此,在设计量子衍生图像处理算法的同时,应进一步考虑算法的计算量和运行时间,这也是算法能否应用于实际的重要问题.

## 参考文献

- 1 阮秋琦. 数字图像处理基础. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- 2 王勇, 刘雯. 改进的图像增强直方图统计方法. 吉林大学学报(信息科学版), 2015, 33(5): 495-500.
- 3 廖斌, 刘鸳鸯. 基于多尺度灰度变换的图像增强研究. 量子电子学报, 2015, 32(5): 550-554.
- 4 贾文晶, 顾桂梅, 刘丽. 基于高通滤波和直方图均衡的钢轨裂纹红外图像增强技术. 铁道标准设计, 2016, 60(11): 41-44.
- 5 王璠. 基于空间域与频域的遥感图像增强算法. 廊坊师范学院学报(自然科学版), 2017, 17(1): 39-41, 46.
- 6 谢可夫. 量子衍生图像处理方法的研究 [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2007.
- 7 张毅, 卢凯, 高颖慧. 量子算法与量子衍生算法. 计算机学报, 2013, 36(9): 1835-1842.
- 8 许精明, 阮越. 基于量子衍生算法的 8-puzzle 问题分析. 量子电子学报, 2015, 32(4): 459-465.
- 9 杨淑云, 李盼池. 量子衍生蜂群算法的设计与实现. 系统仿真学报, 2015, 27(7): 1480-1489.
- 10 席亮, 谢可夫. 基于量子衍生图像分解的多聚焦图像融合. 计算机工程, 2015, 41(8): 268-272. [doi: 10.3969/j.issn.1000-3428.2015.08.049]
- 11 许悟生. 基于量子理论的数字图像处理研究 [硕士学位论文]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
- 12 王奕. 量子衍生的医学超声图像滤波方法研究 [硕士学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2015.
- 13 李盼池, 李国蕊. 混合量子衍生神经网络模型及算法. 电子与信息学报, 2016, 38(1): 111-118.
- 14 刘志刚, 许少华, 李盼池, 等. 基于量子衍生布谷鸟的脊波过程神经网络及 TOC 预测. 控制与决策, 2017, 32(6): 1115-1120.
- 15 Eldar YC, Oppenheim AV. Quantum signal processing. IEEE Signal Processing Magazine, 2002, 19(6): 12-32. [doi: 10.1109/MSP.2002.1043298]
- 16 Dey S, Saha I, Bhattacharyya S, et al. Multi-level thresholding using quantum inspired meta-heuristics. Knowledge-Based Systems, 2014, 67: 373-400. [doi: 10.1016/j.knsys.2014.04.006]
- 17 谢可夫, 许悟生. 基于量子理论的图像中值滤波. 计算机工程, 2013, 39(1): 244-247. [doi: 10.3969/j.issn.1000-3428.2013.01.053]
- 18 付晓薇, 丁明跃, 周成平, 等. 基于量子概率统计的医学图像增强算法研究. 电子学报, 2010, 38(7): 1590-1596.
- 19 付晓薇, 代芸, 陈黎, 等. 基于局部熵的量子衍生医学超声图像去斑. 电子与信息学报, 2015, 37(3): 560-566. [doi: 10.11999/JEIT140587]
- 20 赵生妹, 郑宝玉. 量子信息处理技术. 北京: 北京邮电大学出版社, 2010.
- 21 Nielsen MA, Chuang IL. 量子计算和量子信息: 一 量子计算部分. 赵千川, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- 22 郑丹, 马尚昌, 赵静. 基于空域滤波的图像增强法的探讨. 微型机与应用, 2017, 36(4): 40-42, 46.