

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.10.023

基于测量的量子图像识别研究^{*}

周晓彦^{1,2} 安星星^{1,2} 王 珂^{1,2} 嵇福高^{1,2}

(1. 南京信息工程大学江苏省气象探测与信息处理重点实验室 南京 210044;
2. 南京信息工程大学江苏省气象传感网技术工程中心 南京 210044)

摘 要:目前,已有的量子相似度比较算法:1)逐个比较图像对应位置的像素值;2)将两幅图像分别用量子态表示,再将两幅图像进行连接(意味着将两个量子态连接成一个态),再进行相关的量子操作。所提出的比较算法,是在不连接图像的基础上,将图像用量子态表示,进行控制交换(c-Swap)操作,再进行量子测量,根据测量结果判断两幅图像的相似度。将所提的量子相似度比较算法应用到量子手势识别中,实验结果表明所提算法在识别问题上具有可行性。在经典领域中,手势识别的流程比较复杂。而在量子领域中,无需提取手势的颜色、纹理、特征等步骤,直接可以将手势进行二值化表示,再根据所提的图像相似度算法来实现手势识别。

关键词:量子图像识别;c-Swap 操作;量子测量;量子手势识别
中图分类号: TP306 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.2040

Research on quantum image recognition based on measurement

Zhou Xiaoyan^{1,2} An Xingxing^{1,2} Wang Ke^{1,2} Ji Fugao^{1,2}

(1. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Observation and Information Processing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiangsu Technology and Engineering Center of Meteorological Sensor Network, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract:At present, the existing quantum similarity comparison: one is to compare the pixel values of the image's corresponding position one by one; the other is to represent two images by quantum states, then the two images are connected (it means that the two quantum states are connected to a state), and the relevant quantum operation is carried out. The proposed algorithm is based on the non-connected image, the image is represented by quantum states. Next, the control swap (c-Swap) operation is performed, then the quantum measurement is carried out, and the similarity of two images is determined according to the measurement result. The proposed quantum similarity comparison algorithm is applied to quantum gesture recognition, and the experimental results show that the proposed algorithm is feasible in identifying the problem. In the classic field, the process of gesture recognition is more complex. In the quantum field, there is no need to extract the gestures of the color, texture, features and other steps. The gesture can be binarized directly, and then the gesture recognition is achieved according to the proposed image similarity algorithm.

Keywords: quantum image recognition; c-Swap operation; quantum measurement; quantum gesture recognition

0 引 言

图像识别作为模式识别^[1]的一部分,现如今模式识

别技术已被广泛应用于计算机科学、机器人学、生物科学、医学等许多领域,具体应用有语音、视频^[2]、图像和手写体字符等的识别。图像识别在经典领域中有着广泛的研究。

收稿日期:2017-04 Received Date: 2017-04
^{*} 基金项目:国家自然科学基金(61201444)资助项目

而量子以其特有的量子态叠加和量子并行计算的优势而受到越来越多的学者的关注。于是,对量子图像处理的研究也越来越多,在量子图像处理研究中,最基本的任务是量子图像表示。在进行量子图像处理之前,需要将图像信息在量子计算中表示。经典图像、量子图像以及量子力学的关系如图 1 所示。

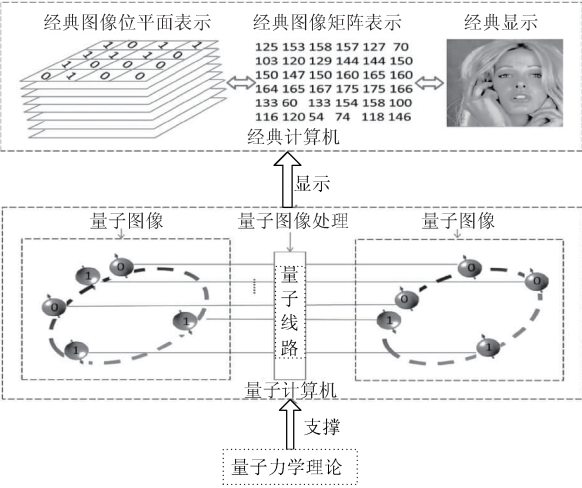


图 1 量子图像处理架构
Fig. 1 Architecture of quantum image processing

目前,量子图像的表示还没有统一的定义和规定,但已有很多表示方法相继被提出。

2005 年,Latorre^[3]提出用量子叠加态来表示图像,将图像像素值转换到 Hilbert 空间中的实向量(real ket),将一幅 $2^n \times 2^n$ 的灰度图像用一个 $2n$ 量子比特的叠加态来表示,但是该叠加态不是一个归一化的量子态。2010 年,Venegas-Andraca 等人^[4]又提出了一种在量子力学系统中存储和检索二进制几何形状的新方法。其中,用纠缠态存储几何图像的重点位置。2011 年,Le 等人^[5]提出了灵活的量子图像表示(rlexible representation of quantum image,FQRI),给出了量子图像压缩算法;FQRI 是将一幅 $2^n \times 2^n$ 的灰度图像的灰度和位置编码到一个规范化的 $2n+1$ 量子比特的量子叠加态上,利用叠加的量子态表示像素点的空间分布。FQRI 所用的量子比特数相对于经典方式大大减少。此外,可以借助量子计算的并行性来处理量子图像,这将加速处理速度,体现了量子计算在图像处理方面的优势。图 2 给出了 FQRI 量子图像编码方式,量子图像线路表示以及量子叠加态的表示。

在 FRQI 算法提出以后,基于 FRQI 的演化算法也陆续被提出。主要有针对彩色图像的多通道表示方法(multi-channel representation for quantum image, MCRQI)^[6,9]。其中,2011 年,Sun 等人^[6-7]是将 FRQI 推广到了 RGB 空间,采用量子彩色图像表示;Li 等人^[9]首次提出量子多维彩色图像的表示方法(normal arbitrary quantum superposition

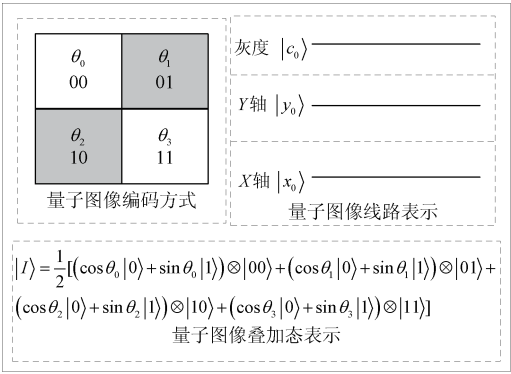


图 2 FROI 量子图像表示
Fig. 2 FROI quantum image representation

state, NAQSS), NAQSS 是利用 $2n+1$ 个量子比特来编码多维彩色图像,其消耗的资源不多,存储的信息却很多。特别地,Zhang 等人^[10]出了一种新颖的增强型量子图像表示方法(novel enhanced quantum representation, NEQR)。该方法,所需的量子比特为 $2n+8$,8 个量子比特是用于编码图像灰度值。这种编码方式更容易将一些经典图像处理算法拓展至量子图像上以实现其功能运行。仍需指出的是,2013 年,Zhang 等人^[11]和 Wang 等人^[12]又提出了在极坐标下图像的量子表示,丰富了图像在量子计算机中的存储。Le 等人^[13-14]基于 FQRI 量子图像表示方式讨论了利用量子门线路实现量子图像几何变换的方法。关键的研究成果还有 2013 年,Caraiman 等人^[15]提出了量子图像分割算法,该算法是基于直方图的。同年,Zhang 等人^[16]又利用 NEQR 量子图像表示方法进一步推广了量子图像直方图的计算方法。Yuan 等人^[17]提出了基于量子测量的量子图像边缘检测算法和量子自适应中值滤波算法。2014 年,Zhang 等人^[18]基于 NEQR 量子图像表示,给出了量子图像特征提取的框架。

以上是对量子图像处理研究的成果,但是对量子图像进行识别或是相似度进行研究的比较少。2012 年,Yan 等人^[19]首次提出了基于概率测量评估量子图像的相似性,借助量子计算中的基本操作和测量,并依据测量结果来分析两个大小相同的 FRQI 量子图片相似度。2014, Li 等人^[20]提出了四量子比特的核磁共振(NMR)测试,将手写的字符分到两个候选集之一,解决光学字符识别(也别称为手写字符识别)问题。在量子处理器上实现的第一个人工智能。同年,阮越等人^[21]提出量子 PCA 算法,设计了对人脸特征进行编码(即人脸特征的量子态表示),使得算法的时间效率有了显著提高。但是阮越等人^[21]提出的算法,是在经典 PCA 思想上对每个特征进行比较,这样速度并不是很快。2015 年,Zhou 等人^[22]提出了量子多维彩色图像相似性比较,利用量子彩

色图像的表示方法—NAQSS 来表示彩色图像,并将两幅待比较的图像进行连接,对连接后的量子态进行酉操作,进一步对酉操作后的量子态进行测量,根据测量结果的概率来判断量子彩色图像的相似度。Yan 等人^[19]和 Zhou 等人^[22]提出的方法都是将两幅图片进行连接,再进行比较图片的相似度。但是,目前对于量子图像的算法设计或是应用也比较少。因此,本文提出了不连接两幅图像,借助量子操作来比较两幅图像的相似度,并将所提的算法应用于手势识别中。

在经典领域中,对手势识别的研究比较深入,手势识别的一般流程如图 3 所示。但是量子手势识别很少有人涉及,因此,本文尝试着将量子图像识别算法运用到手势识别中。

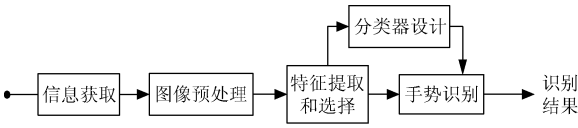


图 3 基于视觉手势识别系统的构成

Fig. 3 The composition of visual gesture recognition system

1 量子图像识别算法

1.1 量子态表示图像

量子算法的基础是量子比特,因此,需要将图像的信息用量子比特表示。

目前,量子图像的表示方法有很多,每种表示方式各有利弊,可以根据实际问题和算法来选取合适的表示方式,本文用 2 种方式来表示量子图像,NEQR^[9]和量子二值图像表示。

1) NEQR

可以用 NEQR 来表示一个量子灰度图像,NEQR 表示的优点:1)从 FRQI 发展而来,继承了 FRQI 的许多优点,比如用叠加态来表示坐标信息,大大减少了量子图像存储代价。2)不同于 FRQI,NEQR 用 8 个量子比特来表示灰度信息,同经典灰度图的表示相一致,这就便利了许多经典灰度图像处理算法在量子图像上的拓展,因此这种表示方法也多被用在各种量子图像处理算法中。

NEQR 的数学表达式为:

$$|I\rangle = \frac{1}{2^n} \sum_{X=0}^{2^n-1} \sum_{Y=0}^{2^n-1} |f(X,Y)\rangle |XY\rangle = \frac{1}{2^n} \sum_{X=0}^{2^n-1} \sum_{Y=0}^{2^n-1} \bigotimes_{i=0}^{q-1} |C_{XY}^i\rangle |XY\rangle \quad (1)$$

式中: $|I\rangle$ 代表大小为 $2^n \times 2^n$ 的灰度图像,存储了整个灰度图像的信息。 $|XY\rangle$ 表示位置信息,即水平和垂直信息。 $|f(X,Y)\rangle$ 代表在坐标 (X,Y) 处的灰度值信息即颜

色信息, $f(X,Y)$ 是用 q 个二进制来编码, $f(X,Y)$ 如式 (2) 所示,一般 $q=8$,表示 $[0 \sim 255]$ 。

$$f(X,Y) = C_{XY}^0 C_{XY}^1 \cdots C_{XY}^{q-2} C_{XY}^{q-1} \quad (2)$$

图 4 所示为一幅 2×2 的灰度图像,其 NEQR 形式为:

$$\begin{aligned} |I\rangle &= \frac{1}{2} (|0\rangle \otimes |00\rangle + |60\rangle \otimes |01\rangle + |180\rangle \otimes |01\rangle + \\ &|255\rangle \otimes |11\rangle) = \frac{1}{2} (|00000000\rangle \otimes |00\rangle + |00111100\rangle \\ &\otimes |01\rangle + |10110100\rangle \otimes |01\rangle + |11111111\rangle \otimes |11\rangle) \end{aligned} \quad (3)$$

00 0	01 60
10 180	11 255

图 4 2×2 量子灰度图像

Fig. 4 2×2 quantum gray image

实际上,NEQR 不仅可以用来表示正方形图像,也可以表示矩形图像,例如,图像大小为 $M \times N$,其量子表示为:

$$\begin{aligned} |I\rangle &= \frac{1}{2^n} \sum_{X=0}^{2^n-1} \sum_{Y=0}^{2^n-1} |f(X,Y)\rangle |XY\rangle = \\ &\frac{1}{2^n} \sum_{X=0}^{2^n-1} \sum_{Y=0}^{2^n-1} \bigotimes_{i=0}^{q-1} |C_{XY}^i\rangle |XY\rangle \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $n = (M + N)/2$ 。

2) 量子二值图像表示

有时需要根据图像处理的目标需求,用更少的量子位来表示图像颜色信息,例如 1 个量子位就可以表示图像颜色信息。设图像 $f(X,Y)$ 的灰度值范围在 $[a,b]$,为了二值化图像,可以设定阈值为 $T(a \leq T \leq b)$,则二值化处理的一般式为:

$$g(X,Y) = \begin{cases} 1, & f(X,Y) \geq T \\ 0, & f(X,Y) < T \end{cases} \quad (5)$$

式中: $g(X,Y)$ 表示二值图像,通常可以用 1 来表示对象物(黑色区域);用 0 来表示背景区域(白色区域),阈值 T 决定着二值图像的质量。

量子二值图像的表示是在 NEQR 模型的基础上,即将颜色信息只用一个量子比特来表示,就可以表示量子二值图像,具体可写为:

$$\begin{aligned} |I\rangle &= \frac{1}{2^n} \sum_{X=0}^{2^n-1} \sum_{Y=0}^{2^n-1} |f(X,Y)\rangle |XY\rangle = \\ &\frac{1}{2^n} \sum_{X=0}^{2^n-1} \sum_{Y=0}^{2^n-1} |C_{XY}\rangle |XY\rangle \end{aligned} \quad (6)$$

式中: C_{XY} 表示黑白颜色信息, $C_{XY} \in \{0,1\}$ 。

1.2 算法步骤

在经典图像处理领域中,图像相似度是通过提取两幅图像的颜色、纹理、结构等特征来计算的,但在量子信息领域中,两幅量子图像需要形如式(6)所示的两个量子态来表示。在量子计算理论中,直接比较和识别两个未知纯态是不可能的,那如何识别两幅量子图像是否相似或相同呢?

基于量子力学、量子线路以及量子图像处理算法等,本文设计了3个步骤来求解两幅量子图像的相似度,具体描述如图5所示。

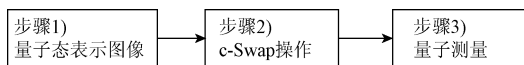


图5 量子图像相似度比较流程

Fig.5 The procedure of quantum image similarity comparison

步骤1)将图像用量子态表示时,需要注意的是所要比较的两幅图像的大小(或形状)可以不同,但需要保证像素相同。三维图像可以是 $5 \times 3 \times 4$ 大小,也可以是 $3 \times 4 \times 5$ 或 $4 \times 3 \times 5$ 。而且这些图像的内容或颜色都可以是不同的。但现实应用中,通常都是比较两幅相同大小的图像。也就是说,整个方案所用的待比较相似度的图像可以大小形状相同或不同。用 I_0 和 I_1 来表示两幅灰度图像(或二值图像)。

步骤2)进行受控交换操作(c-Swap)操作,c-Swap线路如图6所示。若c-Swap中输入态 $|0\rangle|I_0\rangle|I_1\rangle$,其中第一个量子比特 $|0\rangle$ 是控制比特,当控制比特为 $|0\rangle$ 时,Swap不起作用;当控制比特为 $|1\rangle$ 时, $|I_0\rangle$ 和 $|I_1\rangle$ 交换位置。控制比特 $|0\rangle$ 态经过 H 后,有 $|0\rangle \xrightarrow{H} \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$ 。

经过c-Swap操作后,第1量子比特再经 H 变换后可得到:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)|I_0\rangle|I_1\rangle \xrightarrow{\text{c-Swap}} \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle|I_0\rangle|I_1\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle|I_1\rangle|I_0\rangle \quad (7)$$

经过c-Swap操作后,第1量子比特再经 H 变换后可得到:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle|I_0\rangle|I_1\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle|I_1\rangle|I_0\rangle \xrightarrow[\text{进行H变换}]{\text{控制比特}} \\ & \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}\right)|I_0\rangle|I_1\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}\right)|I_1\rangle|I_0\rangle = \\ & \frac{1}{2}(|0\rangle|I_0\rangle|I_1\rangle + |1\rangle|I_0\rangle|I_1\rangle + |0\rangle|I_1\rangle|I_0\rangle + \\ & |1\rangle|I_1\rangle|I_0\rangle) \end{aligned} \quad (8)$$

步骤3)进行量子测量,从概率分布中计算相似度

值。令 $|\psi\rangle = \frac{1}{2}(|0\rangle(|I_0\rangle|I_1\rangle + |I_1\rangle|I_0\rangle) + \frac{1}{2}|1\rangle(|I_0\rangle|I_1\rangle - |I_1\rangle|I_0\rangle))$,用 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ 测量基来对 $|\psi\rangle$ 的第1量子比特进行测量,则可以得到 $p(|0\rangle)$ 的概率为 $p(|0\rangle) = \langle\psi|M_0^\dagger|\psi\rangle$,其中 $M_0 = |0\rangle\langle 0|$ 。则:

$$\begin{aligned} p(|0\rangle) &= \langle\psi||0\rangle\langle 0|\otimes I|\psi\rangle = \\ & \left[\frac{1}{2}\langle 0|(\langle I_0| \langle I_1| + \langle I_1| \langle I_0|) \right. \\ & \left. \frac{1}{2}\langle 1|(\langle I_0| \langle I_1| - \langle I_1| \langle I_0|)\right] \\ & |0\rangle\langle 0|\otimes I\left[\frac{1}{2}|0\rangle(|I_0\rangle|I_1\rangle + |I_1\rangle|I_0\rangle) + \right. \\ & \left. \frac{1}{2}|1\rangle(|I_0\rangle|I_1\rangle - |I_1\rangle|I_0\rangle)\right] = \\ & \frac{1}{2}\langle 0|(\langle I_0| \langle I_1| + \langle I_1| \langle I_0|)|0\rangle\langle 0|\otimes \\ & \left[\frac{1}{2}\langle 0|(|I_0\rangle|I_1\rangle + |I_1\rangle|I_0\rangle) + \right. \\ & \left. \frac{1}{4}(\langle I_0| \langle I_1||I_0\rangle|I_1\rangle + \langle I_0| \langle I_1||I_1\rangle|I_0\rangle + \right. \\ & \left. \langle I_1| \langle I_0||I_0\rangle|I_1\rangle + \langle I_1| \langle I_0||I_1\rangle|I_0\rangle) \right] \\ & \text{又因为}|I_0\rangle\text{和}|I_1\rangle\text{已归一化,则}\langle I_0|I_0\rangle = 1\text{和} \\ & \langle I_1|I_1\rangle = 1\text{。此时:} \\ & p(|0\rangle) = \frac{1}{4}(\langle I_0| \langle I_1||I_0\rangle|I_1\rangle + \langle I_0| \langle I_1||I_1\rangle \\ & |I_0\rangle + \langle I_1| \langle I_0||I_0\rangle|I_1\rangle + \langle I_1| \langle I_0||I_1\rangle|I_0\rangle) = \\ & \frac{1}{4}(\langle I_1|I_0\rangle\langle I_0||I_1\rangle + 1 + 1 + \langle I_0||I_1\rangle\langle I_1||I_0\rangle) = \\ & \frac{1}{2} + \frac{1}{2}|\langle I_0||I_1\rangle|^2 \end{aligned} \quad (9)$$

同理,可知:

$$p(|1\rangle) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}|\langle I_0||I_1\rangle|^2 \quad (10)$$

由式(9)和(10)可知 $p(|0\rangle) + p(|1\rangle) = 1, 0 \leq p(|1\rangle) \leq 1/2$,且由式(10)可知, $0 \leq |\langle I_0||I_1\rangle|^2 \leq 1$;由于 $|\langle I_0||I_1\rangle|^2$ 越大,表示 I_0 与 I_1 越相似,所以当 $p(|1\rangle) = 0$ 时,即 $|\langle I_0||I_1\rangle|^2 = 1$,表示 I_0 与 I_1 相等。

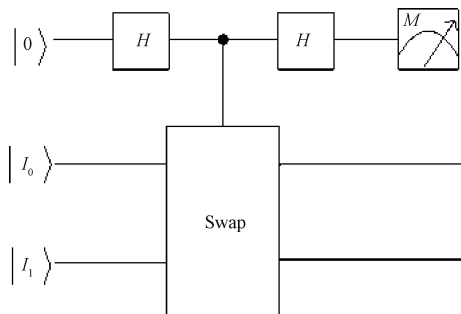


图6 测量 $|I_0\rangle$ 和 $|I_1\rangle$ 相似度的线路

Fig.6 Circuit of measurement $|I_0\rangle$ and $|I_1\rangle$ similarity

根据测量所得的结果,来求解两幅图像的相似度。为此,可以定义两幅图像的相似程度为:

$$S(I_0,I_1)=|\langle I_0|I_1\rangle|^2=1-2p(|1\rangle) \tag{11}$$

2 量子图像识别

量子图像识别中,需要用量子态来表示图像。为了简单起见,本文是用灰度和二值的表示方法来表示量子图像。

2.1 量子态的比较

1) 比较两个已知量子态

在量子信息领域中,可以直接比较两个已知 n -qubit 的量子态 $|a\rangle$ 和 $|b\rangle$,其中, $|a\rangle=|a_{n-1}\cdots a_1a_0\rangle$, $|b\rangle=|b_{n-1}\cdots b_1b_0\rangle$, $a_i,b_i\in\{0,1\}$ 且 $i=n-1,\cdots,1,0$, 比较的量子线路如图 7 所示。采用的是多目标比特的 Toffoli 门, $|c_1\rangle$ 和 $|c_2\rangle$ 为比较结果。

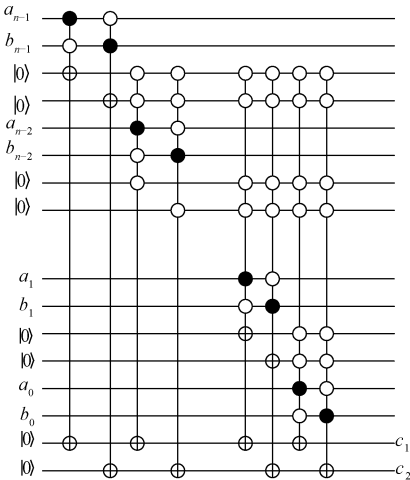


图 7 量子比较器线路

Fig. 7 Circuit of quantum comparator

当 $c_1c_0=10$ 时, $a>b$; 当 $c_1c_0=01$ 时, $a<b$; 当 $c_1c_0=00$ 时, $a=b$ 。

2) 比较两个未知量子态

比较和识别两个未知量子态,在量子计算理论中是不可能的,因此,图 7 无法实现功能。此时,需要借助量子测量。通过测量获得的概率分布来获得两个量子态的相似度。

2.2 MATLAB 中仿真

由于目前量子计算机还没有普及,一些相关的量子仿真软件也还没有问世及应用,为了验证所提算法的准确性,借助经典计算机来进行仿真。借助 MATLAB 工具代替量子仿真软件来在经典计算机上进行仿真实验。实验中,将量子态以向量的形式表示,相关的量子酉操作用

酉矩阵来代替。

以下 2 组实验是在 MATLABR2014a 中进行编程仿真。

图 8 所示为两张完全相同的 Lena 灰度图像,实验结果是两张图片的相似度为 1。



图 8 两张完全相同的 Lena 灰度图像
Fig. 8 Two identical Lena gray images

为了作比较,图 9 所示为 Lena 灰度图像和简单处理后的 Lena 灰度图像,实验显示这两张图像的相似度仅为 0.255 2。



图 9 Lena 灰度图像和处理过(加高斯噪声)后的灰度图像
Fig. 9 Lena gray image and the processed (added Gauss noise) gray image

图 10 所示为 Lena 二值图像和加噪声后的二值图像,实验结果显示两幅图像的相似度为 0.509 1。



图 10 Lena 二值图像和处理过后 Lena 的二值图像
Fig. 10 The binary image of Lena and the binary image of Lena after processing

具体实验结果数据如表 1 所示。

表 1 量子图像相似性比较实验结果

Table 1 Experiment result of quantum image similarity comparison

实验	$\langle I_0 I_1 \rangle$	概率 $p(1\rangle)$	相似度
1	1	0	1
2	0.505 2	0.372 4	0.255 2
3	0.713 5	0.245 5	0.509 1

3 量子图像识别算法在量子手势识别中的应用

由第 1 节可知,要想比较两幅图像的相似度,可以直接将原图像用量子态来表示,接着通过测量图像的量子态即可。在经典图像求解相似度时,需要点对点提取颜色、纹理、特征等,比较两个量子图像,本能反应是比较两个图像对应位置的颜色是否相同。事实上,在量子图像求解相似度时,可省去经典的步骤,直接通过获取表示图像的量子态,进行交换操作,最后再进行测量。图 11 给出了量子手势识别的一般流程。

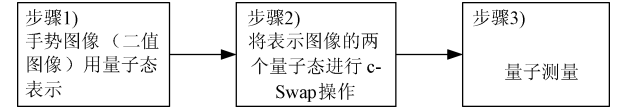


图 11 量子手势识别流程

Fig. 11 The procedure of quantum gesture recognition

3.1 量子手势图像二值化

对于手势,只需要提取到手势形状的关键点就可以进行识别。因此只要提取到手势的轮廓的关键点就可以进行手势识别,因而,只需要对比二值图像即可。假设,待识别的手势图像和已知的手势识别图像分别用 $|I_0\rangle$ 和 $|I_1\rangle$,再将灰度图像转换为二值图像(采用的是阈值法,根据特定情况来调整阈值,保证得到的二值图像效果最好)。式(6)已给出二值图像的量子表示。

3.2 量子手势识别

用 1.1 节量子二值图像表示方法来表示手势图像,识别方法可用 1.2 节所提图像相似度算法。

下面通过 MATLAB 实验来验证所提算法在量子手势识别中的可行性。由于目前量子计算机还没有普及,一些相关的量子仿真软件也还没有问世及应用,为了验证所提算法的准确性,借助经典计算机代替量子计算机, MATLAB 代替量子仿真软件来进行仿真实验。实验中,将量子态以向量的形式表示,相关的量子酉操作作用酉矩阵来代替。

图 12~14 所示为 3 组手势的边缘图像,在 MATLAB R2014a 中进行编程仿真实验。量子灰度图像相似性比较如表 4 所示。

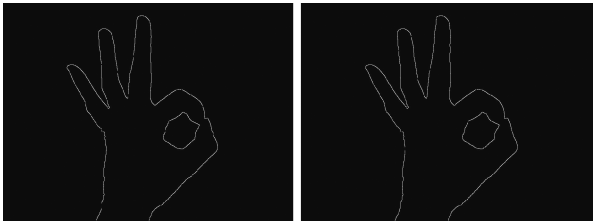


图 12 完全相同的手势图像

Fig. 12 The identical gesture images

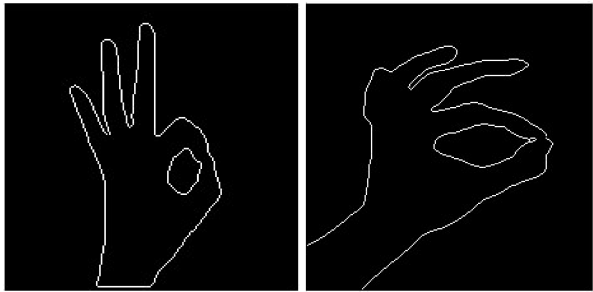


图 13 不同手势二值图像

Fig. 13 The binary images of different gestures

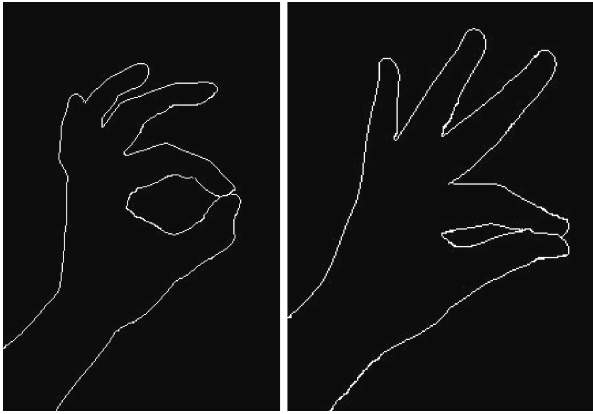


图 14 不同手势图像

Fig. 14 The images of different gestures

表 2 量子灰度图像相似性比较

Table 2 Similarity comparison of quantum gray image

实验	$\langle I_0 I_1 \rangle$	概率 $p(1\rangle)$	相似度
1	1	0	1
2	0.448 6	0.399 4	0.201 2
3	0.466 7	0.391 1	0.217 8

通过表 2 的 MATLAB 仿真数据来看,判断两幅手势图像的相似度是数值,虽然,没有明确说明相似度为几时,两幅图像属于同一类,但该值越接近 1,两幅图像越相似。也可以说明所提算法在量子手势识别中具有一定的可行性。

4 结 论

本文提出了如何求解两幅量子图像相似性的算法。经典图像求解相似度一般需要提取图像的颜色、纹理、特征等;所提算法是直接用量子态来表示图像,使用量子特性对图像进行编码,显著提高了存储效率;再进行 c-Swap 操作;最后通过测量两个步骤来进行最后结果的求解。由以上步骤分析可知,一次量子操作就可以对所有的图像像素进行处理,充分体现了量子计算的并行性以及量子图像存储和量子图像处理的优势。而采用传统技术识别图像时,就需要对每个坐标的像素一个一个地进行比较,速度非常慢。因此,在量子计算机中,按照本文设计的求解量子二值图像相似度方法步骤,方法简便有效,且具有极大的速度优势。

直接使用原始图像数据进行分类可能会导致时间效率低,分类或识别不准确,仍然缺乏完成某些其他复杂操作(如图像分类或识别)的有效方法。因此,所提的量子手势识别在手势识别中存在着一定的误差,后续可对算法进行完善和设计,相关研究还可以进一步的深入。其次,还可以考虑将静态手势识别方法延伸到静态手势识别中。

参考文献

- [1] 倪时策. 模式识别的算法加速器关键技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2009.
- Ni SH C. Research on key technologies of accelerator for pattern recognition[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2009.
- [2] 许佳佳,张叶,张赫. 基于改进 Harris-SIFT 算子的快速图像配准算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(1): 48-54.
- XU J J, ZHANG Y, ZHANG H. Fast image registration algorithm based on improved Harris-SIFT descriptor[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(1): 48-54.
- [3] LATORRE J I. Image compression and entanglement[C]. Computer Science, 2005, 75: 43-71.
- [4] VENEGAS-ANDRACA S E, BALL J L. Processing images in entangled quantum systems[J]. Quantum Information Processing, 2010, 9(1): 1-11.
- [5] LE P Q, DONG F, HIROTA K. A flexible representation of quantum images for polynomial preparation, image compression, and processing operations[J]. Quantum Information Processing, 2011, 10(1): 63-84.
- [6] SUN B, LE P Q, ILIYASU A M, et al. A multi-channel

representation for images on quantum computers using the RGB α color space[C]. IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, 2011: 1-6.

- [7] SUN B, ILIYASU A M, YAN F, et al. An RGB multi-channel representation for images on quantum computers[J]. Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics, 2013, 17(3): 404-417.
- [8] SONG X H, WANG S, NIU X M. Multi-channel quantum image representation based on phase transform and elementary transformations[J]. Journal of Information Hiding & Multimedia Signal Processing, 2014, 5(4): 574-585.
- [9] LI H S, ZHU Q, ZHOU R G, et al. Multi-dimensional color image storage and retrieval for a normal arbitrary quantum superposition state[J]. Quantum Information Processing, 2014, 13(4): 991-1011.
- [10] ZHANG Y, LU K, GAO Y, et al. NEQR: A novel enhanced quantum representation of digital images[J]. Quantum Information Processing, 2013, 12(8): 2833-2860.
- [11] Zhang Y, LU K, GAO Y, et al. A novel quantum representation for log-polar images[J]. Quantum Information Processing, 2013, 12(9): 3103-3126.
- [12] WANG M, LU K, ZHANG Y, et al. FLPI: Representation of quantum images for log-polar coordinate[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2013, 8878(4): 88780H-88780H-5.
- [13] LE P Q, ILIYASU A M, DONG F, et al. Strategies for designing geometric transformations on quantum images[J]. Theoretical Computer Science, 2011, 412(15): 1406-1418.
- [14] LE P Q, ILIYASU A M, DONG F, et al. Fast geometric transformations on quantum images[J]. Iaeng International Journal of Applied Mathematics, 2010, 40(3): 1-13.
- [15] CARAIMAN S, MANTA V I. Histogram-based segmentation of quantum images[J]. Theoretical Computer Science, 2014, 529(6): 46-60.
- [16] ZHANG Y, LU K, GAO Y, et al. A quantum algorithm of constructing image histogram, world academy of science[C]. Waset Org, 2012.
- [17] YUAN S, MAO X, CHEN L, et al. Quantum digital

image processing algorithms based on quantum measurement[J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2013, 124(23): 6386-6390.

- [18] ZHANG Y, LU K, XU K, et al. Local feature point extraction for quantum images[J]. Quantum Information Processing, 2015, 14(5): 1573-1588.
- [19] YAN F, LE P Q, ILIYASU A M, et al. Assessing the similarity of quantum images based on probability measurements [C]. Evolutionary Computation, IEEE, 2012:1-6.
- [20] LI Z, LIU X, XU N, et al. Experimental realization of quantum artificial intelligence [J]. Physical Review Letters, 2014, doi: 10.1103/PhysRevLett.114.140504.
- [21] 阮越, 陈汉武, 刘志昊, 等. 量子主成分分析算法[J]. 计算机学报, 2014(3): 666-676.
RUAN Y, CHEN H W, LIU ZH H, et al. Quantum principal component analysis algorithm [J]. Chinese Journal of Computers, 2014(3): 666-676.
- [22] ZHOU R G, SUN Y J. Quantum multidimensional color images similarity comparison[J]. Quantum Information Processing, 2015, 14(5): 1605-1624.

作者简介



周晓彦, 1980 年出生, 2011 年毕业于东南大学获得博士学位, 现为南京信息工程大学电子与通信工程学院副教授、主要研究方向为模式识别, 机器学习等。

E-mail: xiaoyan_zhou@nuist.edu.cn

Zhou Xiaoyan was born in 1980, received Ph. D. from Southeast University in 2011. She is currently an associate professor in school of electronic and Communication Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology. Her main research interests include pattern recognition, machine learning and so on.



安星星, 2014 年于南京理工大学紫金学院获得学士学位, 现为南京信息工程大学电子与信息工程学院硕士研究生, 主要研究方向为量子机器学习。

E-mail: xingxing_ann@163.com

An Xingxing received B. Sc. from Zijin College of Nanjing University of Science & Technology in 2014. Now she is a M. Sc. candidate in School of Electronics and Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology. Her main research direction is quantum machine learning.