

四元数与彩色图像边缘检测

郎方年¹ 周激流² 闫斌³ 宋恩彬¹ 钟凡¹

(四川大学电子信息学院 成都 610064)¹ (四川大学计算机学院(软件学院) 成都 610064)²

(电子科技大学自动化工程学院 成都 610054)³

摘要 本文将彩色图像像素的 R、G、B 分量作为彩色空间矢量的三个分量,利用矢量场通量以及四元数关于矢量旋转的相关知识,得到两种彩色图像边缘检测方法。基于矢量场通量最大的检测算法,较传统的利用 Sobel 算子的方法能更全面地提取图像的边缘细节,并且针对不同的图像具有很强的自适应效果;基于四元数的检测算法,利用四元数对矢量旋转的方便表示,提出一种全新的彩色边缘检测方法。实验结果表明,本文提出的两种方法针对彩色图像的边缘检测具有较好的效果,特别是四元数矢量旋转方法,能够提取很多传统的灰度化方法所不能提取的图像纹理细节。

关键词 矢量场,数量场,四元数,梯度,边缘检测,Sobel 算子

Quaternion and Color Image Edge Detection

LANG Fang-Nian¹ ZHOU Ji-Liu² YAN Bin³ SONG En-Bing¹ ZHONG Fan¹

(School of Electric Information, Sichuan University, Chengdu 610064)¹

(School of Computer Science(Software), Sichuan University, Chengdu 610064)²

(School of Automation Engineering, UESTC, Chengdu 610054)³

Abstract Regarding R, G, B of color image pixel as the three weights of color space vector, two color image edge detection algorithms have been proposed using corresponding knowledge of vector field flux and quaternion. Maximizing vector flux based detection algorithm can detect more edge details comparing conventional algorithm, simultaneously, this algorithm has quite self-adaptive ability to different nature images. A novel edge detection algorithm also be proposed based on quaternion using the easy quaternion expressing of vector rotating. Experiment result illuminate that the two algorithms have good detection effects to color image, especially, quaternion vector rotating based algorithm can detect much more texture details which the conventional algorithm can't realize it.

Keywords Vector field, Quatyity field, Quaternion, Gradient, Edge detect, Sobel operator

自然界的彩色是一种感知现象,而不是光线本身的物理特征^[1]。可见光中任意波长的光都对应一种被感知的色彩,且本质上不可分,是相关的。最为通用的面向硬件的彩色表示方法是上世纪 50 年代出现的 RGB 三色模型空间^[2~3]。全彩色图像处理技术主要有两类:第一类是分别处理各分量图像,然后合成为真彩图像;第二类是直接对彩色像素进行处理。边缘检测是众多彩色图像处理任务中极为基本的,这是因为图像分割识别等大量高层次彩色图像处理任务均建立在低层次边缘检测之基础上。已经存在的彩色图像边缘检测方法有:(1)将彩色图像转换为灰度图像,利用成熟的灰度图像边缘检测方法来实现对彩色图像的边缘提取。(2)检测每个分量图像的边缘,然后采用适当的方法合成这些数据,得到希望的结果。(3)近 10 年来出现的基于四元数以及矢量的彩色图像边缘检测方法,如色彩差分、矢量点乘等技术^[5]。

本文提出的第一种方法,即矢量场通量最大化方法,避开彩色像素单纯的物理含义,而以纯粹的数学观点来分析问题。首先将彩色图像转换为空间局部平面矢量场,求出该矢量场反映图像内容特征的散度场,再通过计算该散度场的能表现局部特征变化快慢的梯度场来实现对图像边缘的检测。这样做的目的在于从整体上把握图像边缘检测的效果,从而比传

统方法能更全面地检测出图像的纹理细节。利用四元数在表示矢量旋转方面的优势,则提出了本文的第 2 种新颖的彩色图像边缘提取方法。由实验结果可知,该方法对彩色边缘的敏感性比传统的灰度化方法要强烈得多,因此能够提取更多的亮度相同但色度不同的彩色边缘。由于两种方法具体计算步骤中都涉及到对矢量的操作,因此本文将两种方法合在一起讲述。

接下来的内容安排如下:1 预备知识,其中包括:1.1 矢量分析与场论,1.2 三维转动的四元数描述。2 原理与方法,其中包括:2.1 场论在彩色图像边缘检测中的应用原理,2.2 四元数矢量旋转在彩色图像边缘检测中的应用原理。3 实验结果与分析。最后是结论部分。

1 预备知识

1.1 矢量分析与场论

梯度:若在数量场 $u(M)$ 中的一点 M 处,存在一个矢量 G ,其方向为函数 $u(M)$ 在点 M 处变化率最大的方向,其模也正好是这个最大变化率的数值,则称矢量 G 为函数 $u(M)$ 在点 M 处的梯度。

通量:设有矢量场 $A(M)$,沿其中有向曲面 S 某一侧的曲

郎方年 博士研究生,主要研究方向为数字图像处理、生物特征识别等;周激流 博士,教授,博士生导师,主要研究方向为图像处理、计算智能、生物特征识别等;闫斌 博士研究生,主要研究方向为现场总线、无线传感器网络等;宋恩彬 博士研究生,主要研究方向为不确定性数学、信息隐藏、矩阵理论等;钟凡 硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理、生物特征识别等。

面积分:

$$\Phi = \iint_S A_n dS = \iint_S A \cdot d\vec{S} \quad (1)$$

叫做矢量场 $A(M)$ 向积分所沿一侧穿过 S 的流量。

散度: 设有矢量场 $A(M)$, 于场中一点 M 的某个领域内做包含 M 点在任意的闭曲面 ΔS , 设其所包围的空间区域为 $\Delta \Omega$, 以 ΔV 表其体积, 以 $\Delta \Phi$ 表从其内穿出 ΔS 的流量, 若当 $\Delta \Omega$ 以任意方式缩向 M 点时, 比式

$$\text{div}A = \lim_{\Delta \Omega \rightarrow M} \frac{\Delta \Phi}{\Delta V} = \frac{\iint_{\Delta S} A \cdot d\vec{S}}{\Delta V} \quad (2)$$

之极限存在, 则称此极限为矢量场 $A(M)$ 在点 M 处的散度。

1.2 三维转动的四元数描述

考虑矢量的转动, 设矢量 α 旋转 θ 角变成矢量 β , 设垂直于 α, β 所在平面的转轴方向单位矢量为 e_n , 转动方向与转轴方向遵循右手法则, 则相关的四元数表示为

$$\beta = (\cos\theta + e_n \sin\theta)\alpha$$

当反向旋转时, 则相应地表示为

$$\beta = (\cos(-\theta) + e_n \sin(-\theta))\alpha$$

而矢量 α 与转轴 e_n 不垂直时, α 绕 e_n 旋转 θ 角变成矢量 β , 则该四元数表示为

$$\beta = \left(\cos \frac{\theta}{2} + e_n \sin \frac{\theta}{2} \right) \alpha \left(\cos \frac{\theta}{2} - e_n \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

2 原理与方法

2.1 场论在彩色图像边缘检测中的应用原理

对于彩色图像, 其边缘的形成受以下几个方面的影响:

(1) 光照强度, 即灰度图像中灰度值的大小。(2) 彩色色调, 不同色调区域之间可以形成彩色边缘。(3) 饱和度, 相同色调、相同光照强度但不同饱和度的区域之间也可以形成图像边缘^[7]。

在彩色图像边缘检测中, 我们希望的是检测出图像中颜色特性发生变化的地方。如何全面完美地检测出彩色图像中的各类边缘, 一直是图像处理研究人员所追求的目标。但遗憾的是, 现有的各种经典方法往往都只能照顾一个方面, 而不可能对所有的图像都具有很好的检测效果。本文第一种方法从场的观点出发, 以新的思路给出彩色图像边缘检测的方法, 具体原理分析如下。

显然, 如果将彩色图像每个像素的 R, G, B 值看作矢量的三分量, 如式(3)所示, 则可以将彩色图像当作空间局部平面矢量场, 从而以纯数学的观点, 利用有关场的概念来对图像进行分析。

$$f[m, n] = R[m, n]i + G[m, n]j + B[m, n]k \quad (3)$$

因为图像边缘实际是图像局部特征发生变化的地方, 所以如果求出彩色图像矢量场的流量, 再求出反映流量各点局部特性的散度场, 则很容易知道: 如果得到该散度场的梯度场, 也就知道了原彩色图像局部特征的变化, 即图像的边缘分布。本文正是沿着这一思路来考虑彩色图像的边缘检测问题。

以连续图像 $f(x, y) = R(x, y)i + G(x, y)j + B(x, y)k$ 为例, 则整个分析过程为

图像 \rightarrow 流量 \rightarrow 散度 \rightarrow 梯度 \rightarrow 边缘检测

在实际图像处理应用中, 由于要求的目的地不一样, 导致界定边缘检测结果好坏的标准也不一样。本文第一种方法考虑的是尽可能找出各种边缘并以较显著的方式显示这些边缘, 在数学上就是要求矢量图像散度场的逐点梯度模值在图像平

面上的积分达到最大。具体图示分析如下。

如图 1, M 为彩色图像平面, n 为法向矢量, 点 O 处像素的彩色向量为 C_1 , 该点附近领域的小块平面面积为 ΔS , 则由矢量场流量的概念可知流过 ΔS 的流量为

$$\Delta \Phi = n \cdot c_1 \Delta S = |n| |c_1| \cos(n, c_1) \Delta S$$

令 n 为单位矢量, 则可知图像矢量平面局部区域的流量大小与颜色矢量的模值和该矢量与图像法向矢量的夹角有关。如果 $|C_1| > |C_2|$, 则取 C_1 时流过 ΔS 的流量比取 C_2 时要大; 如果 $|C_3| = |C_2|$, 但 $\cos(n, C_3) < \cos(n, C_2)$ (两者均为锐角), 则知 $\Delta \Phi_3 > \Delta \Phi_2$ 。所以本文方法 1 的数学描述为

$$\max \left\{ \iint_S |d\Phi/ds| ds \right\}$$

为方便算法的编程计算, 实际计算中我们使用梯度模的平方来代替模的本身。

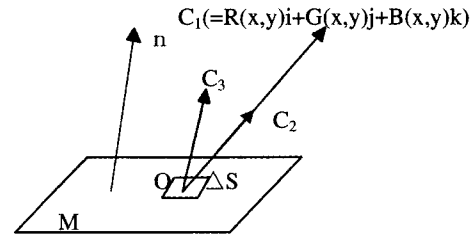


图 1 流量计算图示

由图示分析可以知道, 从物理意义上来讲, 图像平面像素的颜色矢量与图像平面本身的法向矢量并无本质的联系, 但在我们的应用中需要建立起这两者之间的关系, 即要求图像平面的法向矢量和像素矢量在同一空间。从数学上来说, 容易做到这点。很显然, 图像法向矢量的选取不同, 求出的流量也不同, 最后得到的边缘检测效果也不一样。所以, 法向矢量的不同选择形成了不同的边缘检测方法。通过以下分析知道, 这些方法中包含了以往经典的彩色转灰度处理方法、三原色分离以及双色组合的处理方法。以下分析中图像矢量场表示为 A , 其流量表示为 Φ 。

2.1.1 彩色图像灰度化边缘检测

传统的将彩色图像转换为灰度图像的过程中, 各分量的系数为 0.299(R)、0.587(G) 以及 0.114(B), 而亮度值 (即灰度值) 的大小为 $\text{Red} \times 0.299 + \text{Green} \times 0.587 + \text{Blue} \times 0.114$, 所以按本文的思路, 以纯数学的观点来分析问题, 实际相当于取定的图像平面法向矢量为 $n = 0.299i + 0.587j + 0.114k$, 其计算过程为

$$d\Phi = n \cdot f(x, y) ds = [0.299R(x, y) + 0.587G(x, y) + 0.114B(x, y)] dx dy$$

$$\text{div}A = \frac{d\Phi}{ds} = 0.299R(x, y) + 0.587G(x, y) + 0.114B(x, y)$$

然后对该结果经典的边缘检测算子如 Roberts、Prewitt、Sobel 等对图像进行处理, 则可以得到相应图像的边缘。

2.1.2 R、G、B 三色分离的边缘检测

如果图像平面的法向矢量取为: $\mu_1 = i + 0j + 0k, \mu_2 = 0i + j + 0k, \mu_3 = 0i + 0j + k$, 则可以得到文献所提到的类似检测方法, 计算过程为

$$d\Phi_1 = \mu_1 \cdot f(x, y) ds = R(x, y) dx dy$$

$$\text{div}A_1 = \frac{d\Phi_1}{ds} = R(x, y)$$

$$d\Phi_2 = \mu_2 \cdot f(x, y) ds = G(x, y) dx dy$$

$$\text{div}A_2 = \frac{d\Phi_2}{ds} = G(x, y)$$

$$d\Phi_3 = \mu_3 \cdot f(x, y) ds = B(x, y) dx dy$$

$$\text{div}A_3 = \frac{d\Phi_3}{ds} = B(x, y)$$

但是,本文通过实验表明,这种方法对彩色图像边缘的检测,效果并不理想。不论是对红分量,还是另外两种分量单独处理,其结果都只能看到原始图像的细微轮廓,并不能得到满意的边缘纹理信息。即使是合成以上三种结果,其效果同样跟单分量检测结果类似,几乎不可能得到满意的结果。

2.1.3 三色两两组合边缘检测

如果图像平面的法向矢量为: $\mu_1 = i + j + 0k, \mu_2 = 0i + j + k, \mu_3 = i + 0j + k$, 计算过程如下:

$$d\Phi_1 = \mu_1 \cdot f(x, y) ds = [R(x, y) + G(x, y)] dx dy$$

$$\text{div}A_1 = \frac{d\Phi_1}{ds} = R(x, y) + G(x, y)$$

$$d\Phi_2 = \mu_2 \cdot f(x, y) ds = [G(x, y) + B(x, y)] dx dy$$

$$\text{div}A_2 = \frac{d\Phi_2}{ds} = G(x, y) + B(x, y)$$

$$d\Phi_3 = \mu_3 \cdot f(x, y) ds = [R(x, y) + B(x, y)] dx dy$$

$$\text{div}A_3 = \frac{d\Phi_3}{ds} = R(x, y) + B(x, y)$$

本文使用标准色块进行实验。结果表明,使用两两组合的方法其检测效果明显地比单色检测效果要好得多。尽管对由缺少的彩色分量形成的边缘检测效果不理想,但是对自然图像来说,其检测结果跟传统的灰度图检测结果在视觉效果上相差不大。这种现象表明,R、G、B彩色模型中三种色彩之间具有很强烈的互补性。

2.1.4 梯度模积分最优边缘检测

基于以上分析,本文则提出了一种对任何自然彩色图像都具有较强自适应效果的边缘检测方法。按 2.1 节开始部分所述,如果仅从数学上讨论,我们的目标是要求能使积分

$$\iint_S |\text{grad}(\text{div}A)|^2 dx dy$$

达到最大的法向矢量,这样得到的边缘最为突出,得到的边缘细节也最多。假设该法向矢量为

$$\mu = n_1 i + n_2 j + n_3 k$$

则相应的计算过程如下:

$$d\Phi = \mu \cdot f(x, y) ds = [n_1 R(x, y) + n_2 G(x, y) + n_3 B(x, y)] dx dy$$

$$\text{div}A = \frac{d\Phi}{ds} = n_1 R(x, y) + n_2 G(x, y) + n_3 B(x, y)$$

$$\iint_S |\text{grad}(\text{div}A)|^2 dx dy =$$

$$\iint_S \left\{ \left[\frac{\partial(n_1 R + n_2 G + n_3 B)}{\partial x} \right]^2 + \left[\frac{\partial(n_1 R + n_2 G + n_3 B)}{\partial y} \right]^2 \right\} dx dy$$

将该二次型表达式展开、变形,则可知,求解该式的最大值问题,实际上可以简化为求解矩阵最大特征值以及该特征值对应的特征向量的问题。如果假设该式最大值为 λ_{\max} , 则上式可以描述为如下数学模型:

$$\begin{cases} AX = \lambda_{\max} X \\ |X| = 1 \\ A^T = A \end{cases}, A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

其中: $X = [n_1 \ n_2 \ n_3]$, 在该模型中即为矩阵 A 的最大特征值所对应的特征向量,在实际问题中也就是我们需要求解的能得到最好边缘检测效果的图像平面法向矢量 $\mu = n_1 i + n_2 j + n_3 k$ 。矩阵 A 为 3×3 的实对称阵,其中各项系数分别为

$$a_{11} = \iint \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial y} \right)^2 \right] dS,$$

$$a_{12} = a_{21} = \iint \left(\frac{\partial R \partial G}{\partial x \partial x} + \frac{\partial R \partial G}{\partial y \partial y} \right) dS$$

$$a_{22} = \iint \left[\left(\frac{\partial G}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial y} \right)^2 \right] dS,$$

$$a_{13} = a_{31} = \iint \left(\frac{\partial R \partial B}{\partial x \partial x} + \frac{\partial R \partial B}{\partial y \partial y} \right) dS$$

$$a_{33} = \iint \left[\left(\frac{\partial B}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial y} \right)^2 \right] dS,$$

$$a_{23} = a_{32} = \iint \left(\frac{\partial B \partial G}{\partial x \partial x} + \frac{\partial B \partial G}{\partial y \partial y} \right) dS$$

本文利用 Sobel 算子在图像平面上逐点计算以上等式中的各梯度项,然后求和,则可以得到矩阵 A 的具体表达式,进而求出该矩阵最大特征值所对应的特征向量。由以上计算分析可知,该方法具有较强的自适应效果,因为对于不同的彩色图像,计算出来的法向矢量一般而言不可能相同,对任何一幅彩色图像,它总能找到一个使上述积分达到最大的矢量。而对于传统的方法,按数学的观点来看,计算开始就固定了该法向矢量,所以并不一定能达到我们所希望的结果。因此,从这个意义上来说,本文的方法 1 具有一定的理论意义及应用价值。

2.2 基于四元数矢量旋转的彩色图像边缘检测

对于灰度图像,其边缘定义为亮度的不连续跳变;而对于彩色图像,边界的定义则首先应该反映亮度信息的跳变(即使边界两侧具有相同的色彩),另外边缘还应该反映不同颜色区域之间的界限(即使两侧的亮度相同)。因此,为了检测出彩色边缘,必须确定出满足以上两条条件的边界像素点。为了方便检测出边缘像素,可以定义该类边界像素为偏离局部同色区域(局部同色区域即为不含亮度和色度跳变的区域)。这样,边缘检测问题就成为如何检测出不在局部同色区域,但是又与局部同色区域的像素相连的像素。

按本文思想,将彩色像素值看作矢量,则矢量模值的大小反映该像素的亮度,而矢量的方向反映该像素的彩色色调和饱和度。如果两像素矢量相同,将其中一个矢量绕固定轴旋转 180 度,再与另一矢量做加法运算,则合成矢量的方向应该跟旋转轴重合。如果两矢量不相同,则合成矢量应偏离旋转轴。本文选定的旋转轴为单位矢量 $\mu = i + j + k$, 即灰度像素矢量。所以,如果合成矢量表示的像素为灰度的话,则意味着原始两像素代表的颜色相同。反之,如果合成矢量代表的像素为彩色的话,则表明原始两像素代表的颜色不相同。

为了确定像素 $C(m, n) = Ri + Gj + Bk$ 是否为边缘像素,本文采用如下式的 3×3 左右双模板对图像做卷积操作。

$$\begin{bmatrix} \beta & \beta & \beta \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ C_4 & C_5 & C_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta' & \beta' & \beta' \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

其中: $\beta = \cos \frac{\theta}{2} + e_n \sin \frac{\theta}{2}, \beta' = \cos \frac{\theta}{2} - e_n \sin \frac{\theta}{2}, e_n = i + j + k$, 并且取 $\theta = 90^\circ$ 。按 1.2 节所述,该模板操作相当于将像素 C_1, C_2, C_3 绕灰度轴按右手法则旋转 180 度,然后再分别与 C_4, C_5, C_6 相加,最后求总和,计算结果按下式:

$$C'(m, n) = (\beta C_1 \beta' + C_4) + (\beta C_2 \beta' + C_5) + (\beta C_3 \beta' + C_6)$$

如果 $C'(m, n)$ 的三色分量相等或者近似相等,则表示像素 $C(m, n)$ 跟周围的像素颜色相当,因此认为该像素为局部同色像素,从而排除它是边缘像素的可能。反之,如果 $C'(m, n)$ 三色分量不相等,即该像素代表的颜色为彩色,则认为 $C(m, n)$

为边缘像素。至于 $C'(m,n)$ 在多大程度上属于彩色像素或者非彩色像素,可以根据实际情况取适当的阈值进行判断。

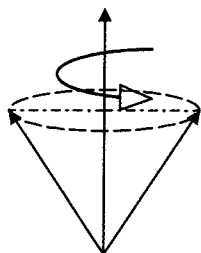


图2 颜色矢量旋转

分量图的检测结果只得到两条由蓝色色块所形成的边缘,绿色分量图的检测结果只得到由绿色色块形成的边缘,同样对红色分量图也是如此。而由(b.2)、(c.2)、(d.2)双色分量图的检测结果,同样可以知道不可能得到全部的边缘线条,缺少的颜色分量所形成的边缘细节则不能被检测出。同时,由图示还可以知道,如果合成单色分量的各个检测结果也不可能得到所有的边缘细节,而合成双色组合的各检测结果则可以获得全部的边缘信息。

3 实验结果与分析

实验首先选用自制的彩色合成图像,如图3(a)所示,来检验两种方法对彩色边缘的检测效果,同时对各自的优缺点给以详细的分析与说明,然后使用两张自然图片进行实验验证。其中,图6的(a.1)来源于Internet网,(b.1)则是使用数码相机拍摄的实验室部分成员的照片。

3.1 合成图像的检测结果

图3(a)所示的合成图像由不同的颜色条纹组成,这样的人为包含了各种不同色彩形成的比较明显的边缘,借此来检验本文提出的两种方法对不同的颜色边缘的检测性能。图3中的(b.1)、(c.1)、(d.1)为单色分量图像,而(b.2)、(c.2)、(d.2)为两两组合所形成的双色图像。生成以上各图时,缺少的颜色分量本文采用的方法是赋0值,然后和其余的颜色分量重新组合为BMP图像。



(a) 原始合成图像



(b.1) 蓝色分量图

(b.2) 绿+蓝分量图



(c.1) 绿色分量图

(c.2) 绿+红分量图



(d.1) 红色分量图

(d.2) 红+蓝分量图

图3 原始图像以及各分量图像

3.1.1 单色及双色组合检测结果

见2.1.2及2.1.3小节分析,在形成单色分量图以及双色组合图时,按本文矢量场的观点,相当于原始图像平面的法向矢量仅仅包含了三色的部分信息,因此检测结果不可能得到所有颜色形成的边缘细节,实验结果也恰好证实了这点。图4中的(b.1)、(c.1)、(d.1)各单色分量图的检测结果,蓝色

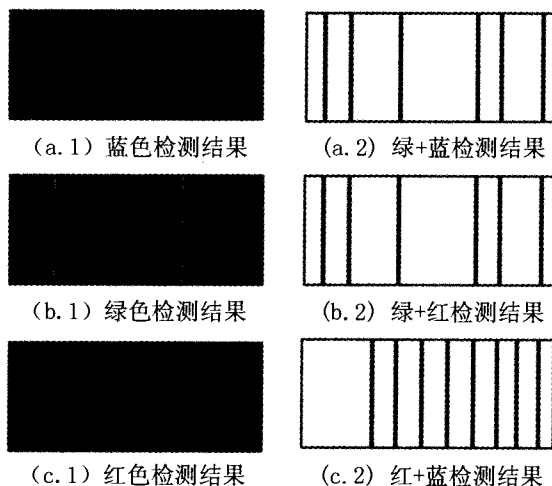


图4 单色及双色组合的检测结果

3.1.2 灰度化检测结果

如果按2.1.1节的方式将原始合成图像转换为灰度图,再使用经典的 3×3 Sobel算子提取边缘信息,得到如图5的结果。与图4的结果相比,灰度化的检测结果能够获取所有的彩色边缘信息。按本文矢量场的观点可以想象,按这种方式处理实际上相当于原始图像平面的法向矢量包含了彩色三分量的全部信息,所以其检测结果能够获取所有的边缘细节成分。



图5 灰度化检测结果

3.1.3 方法1的检测结果

图6是按本文提出的第一种方法对原始图像的检测结果,左边是以彩色的边缘形式给出的结果,右边是该图的二值黑白图像。由2.2节可知,该方法是从纯粹数学的角度来分析边缘的获取情况,以最大的可能获取所有的边缘成分。所以,不难想象,本方法对彩色图像的边缘检测能得到好的效果。然而比较图5与图6,对合成图像而言,两者的检测结果根本看不出任何差别。但是由以下关于自然图像的检测结果则可知,本文提出的方法1比传统经典的灰度化方法的检测结果要好,特别是在部分细节的提取上,本文的方法1效果更优。这点可以通过设定相同的判决阈值,对检测结果的二值化图示做比较而得知。



图6 方法1的检测结果

3.1.4 方法2的检测结果

图7为本文方法2对合成图像的检测结果,左边为检测结果的彩色表示,右边为二值黑白表示。与本文方法1和传统方法相比,在对合成图像边缘的检测上,方法2同样能够取得好的效果。



图7 方法2的检测结果

3.2 自然图像

合成图像的彩色边缘明显,而且两侧的颜色差异很大,所以这类边缘容易被检测。但是实际工作中,需要处理的大量图片均为在自然环境下拍摄的照片,这类图片包含各种各样清晰的、模糊的边缘,不但有由亮度差异形成的边缘,也包含由于色度差异形成的边缘。本文选用 Internet 网的人物照片和用数码相机拍摄的实验室人物照片来检验本文提出的两种方法对自然图像边缘的检测效果。

3.2.1 灰度化检测结果

为了对比不同方法的检测性能,本文首先给出经典的边缘提取算法对这两幅图像的检测结果。图8中的(a.1)、(b.1)为原始图像,(a.2)、(b.2)是利用2.1.1中的灰度化公式将彩色图像转换为灰度图,然后使用 3×3 的Sobel算子进行检测的结果。



(a.1) 原始图像

(a.2) 检测结果



(b.1) 原始图像

(b.2) 检测结果

图8 灰度化检测结果

3.2.2 方法1的检测结果

图9为本文方法1对两幅自然图像的检测结果,左边的图像通过如下方式获得:先按2.1.4节的计算方法求出彩色图像的法向矢量,然后求出矢量平面通量的散度,最后计算该散度场的梯度场,并且进行亮度均衡化而得到。右边为取适当阈值的二值化结果。比较图8、图9,可以看出,方法1能够

检测出许多传统的方法无法提取的图像纹理细节,比如(a)中女孩的头发、(b)中的环境纹理以及人物衣服的横条边缘等。当然,也存在一些方法1不能检测而传统方法能够提取出来的边缘细节。从数学原理上分析可以知道其中的原因,见第2节,按本文的观点,在求取法向矢量的时候,传统的方法是按光谱能量分布来确定的,所以一开始就固定了各分量的权值,其中绿色分量的比重最大,因此图像灰度化检测结果势必绿色分量形成的亮度占优。这样在绿色成分占优的边缘处,检测结果应该显著些。而本文方法1为了追求图像边缘检测的整体效果,则可能弱化一些边缘,而强化更多的边缘细节,以达到边缘检测的整体显著性效果。



(a.2) 检测结果



(b.2) 检测结果

图9 方法1对自然图像的检测结果

3.2.3 方法2的检测结果

图10为本文方法2的检测结果,左边是以彩色形式给出的边缘细节,右边则为黑白二值图。彩色图像灰度化边缘检测方法实际上只能对由亮度不连续形成的边缘起作用,而方法2对图像彩色边缘则具有更强的敏感性,所以针对彩色图像而言,方法2能够提取出的边缘细节要远多于传统的灰度化方法。具体原因可由如下分析而得知:如果边缘区域两侧颜色不同,而化为灰度后亮度却相同,则用方法1以及传统的灰度化方法不可能检测出这类边缘。但是对方法2而言,因为边缘两侧像素的颜色不同,则边缘一侧的颜色矢量旋转180度以后不可能与另一侧的颜色矢量重合,其合成矢量偏离灰度轴,因此就能很容易地提取出该类彩色图像的边缘信息。如图10(a)中女孩的鼻梁、嘴巴、手指、头发以及背景的条纹等,图10(b)中任务的脸部以及衣服的文理信息,方法2都能很好地提取,而仅凭亮度信息却无法作到。使用矢量旋转时,边缘两侧的像素都将作为边缘细节而被提取,所以方法2检测出的边缘比传统方法要粗。如果辅以数字形态学中的细化等后处理操作,则可以细化较粗的边缘,而达到好的检测效果。

(下转第251页)

- al Symposium, Sept. 2005. 41
- 38 Forselius P. Faster and better functional sizing by KISS - keeping it simple. FiSMA, Software Technology Transfer Finland Ltd
- 39 Lokan C, Wright T, Hill P R, et al. Organizational Benchmarking Using the ISBSG Data Repository. IEEE Software, 2001, 18(5): 26~32
- 40 Garmus D, Herron D. Function Point Analysis: Measurement Practices for Successful Software Projects. Addison-Wesley, Nov. 2000
- 41 Minkiewicz A F. Measuring Object-oriented Software with Predictive Object Points. In: Proc. ASM'97, Atlanta, October 1997
- 42 Teologlou G. Measuring object-oriented software with predictive object points. Project Control for Software Quality, Shaker Publishing, 1999
- 43 Jeffery D R, Low G C, Barnes M. A Comparison of Function Point Counting Techniques. IEEE Transactions on Software Engineering, 1993, 19(5): 529~532
- 44 Akingbehin K, Maxim B. A Three-layer Model for Software Engineering Metrics. In: 7th ACIS International Conference on SNPD, June 2006. 17~20
- 45 IFPUG (International Function Point Users Group). Function Point Counting Practices Manual - Release 4. 2, Westerville, 2004
- 46 ISO/IEC 14143. Functional size measurement, 1998 - 2006
- 47 ISO/IEC 20968. Mk II Function Point Analysis - Counting Practices Manual, 2002
- 48 ISO/IEC 19761. COSMIC-FFP - A functional size measurement method, 2003
- 49 ISO/IEC 20926. IFPUG 4. 1 Unadjusted functional size measurement method - Counting practices manual, 2003
- 50 ISO/IEC 24570. NESMA functional size measurement method version 2. 1 - Definitions and counting guidelines for the application of Function Point Analysis, 2005
- 51 COSMIC. The Common Software Measurement International Consortium FFP Measurement Manual - Version 2. 2, 2003
- 52 NESMA. Netherlands Software Metrics Association, Definitions and Counting Guidelines for the Application of Function Point Analysis - Version 2. 0, 1997

(上接第 216 页)



图 10 方法 2 对自然图像的检测结果

结论 本文基于矢量场论的思想以纯数学的观点提出一种新的彩色图像灰度化的边缘检测方法 1, 而通过利用四元数关于矢量旋转的方便表示提出基于彩色矢量旋转的检测方法 2。

方法 1 实际上是以追求检测结果的整体最优效果为目的, 本文从理论上证明了该方法的可行性, 并给出具体的计算方法。通过编程实验, 对各种情况进行对比研究, 证明了方法

1 的合理性以及较传统方法的优越性。矢量场的散度场实际上反映了图像的内容特征, 并且是针对图像逐点体现, 而散度场的梯度场则反映了各点特征变化的速率, 即图像的边缘信息。本文要求的对平面求梯度模积分最大来求解边缘信息, 则是从总体上优化解的结果, 因此能得到更为全面的关于图像边缘的信息。但是本文最优方法 1 的计算过程相对于传统的方法要复杂些, 因此是以计算时间为代价来获取好的检测效果。今后的工作重点应该选在优化计算过程及提高计算精度以求能得到更为精细的图像边缘信息。

方法 2 则是一种全新的检测方法, 基本思路则是利用了四元数对于矢量旋转的方便表示, 相同的色彩经过旋转合成后为灰度色彩, 而不同的彩色矢量经过旋转合成后则仍为彩色矢量, 通过筛选旋转合成结果中的灰度成分而得到图像的边缘信息。实验验证可知, 该方法较传统的检测方法, 在对彩色边缘的提取上能达到更好的效果, 能够提取许多色彩细微变化的轮廓信息。但由 3. 2. 3 节分析可知, 该方法也存在一些问题, 所以今后工作的重点应该放在对初检结果的后处理上, 以得到满意的结果。

参考文献

- 1 Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing. Second Edition. Publishing House of Electronics Industry, 2003. 33~35
- 2 Benson K B. Television Engineering Handbook. McGraw-Hill, New York/Lon-Don, 1992
- 3 Slater J. Modern television systems to HDTV and disp-Lay systems. Adam Hilger, Brestol, 1983
- 4 Sangwine S J. Coulor iamge edge detector based on Quaternion [J]. Electronics Letters, 1998, 34(10): 969~971
- 6 李文亮. 四元数矩阵[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2002. 1~5
- 7 欧珊瑚, 王倩丽, 朱哲瑜, 等. 数字图像处理技术与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. 266~267