

基于可调滤波器的 Canny 检测算法

黄颖^{1,2} 王卫星¹

(重庆邮电大学计算机科学与技术学院 重庆 400065)¹(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)²

摘要 在 Canny 边缘检测算法中,通过计算水平方向和垂直方向的梯度来分析当前像素点的梯度强度和方向。因为没有充分利用所有邻域的信息,在边缘较为复杂的区域结果就会出现较大的偏差。本文实现了基于方向滤波器的 Canny 算法,充分利用各邻域的信息,对图像进行多方向的分析。文中描述了具体算法并通过实例进行比较,证明了应用方向滤波器的算法在边缘检测能力和边缘保持能力上有一定程度的提高,并且改进算法具有较强的鲁棒性。

关键词 方向滤波器, Canny 算法, 边缘检测

1 引言

Marr 认为信号与图像的“表述”是一个内在的概念,并且使用一些恰当的符号表述客观现实,可以帮助人们捕捉到现实中某些我们感兴趣的特点。正因为如此,对于由四元组 (x, y, t, θ) 表示的信号,人们可以通过信号在特定的时间 (t) , 特定的空间 (x, y) 和特定的方向 (θ) 上的频率成分,也就是在特定的元上进行多分辨率分析。小波可以对特定的时间和空间上的频率进行多分辨率分析,通过对小波基函数进行膨胀和平移而进行处理,而方向滤波器则可以对方向上的频率进行多分辨率分析,方向滤波器可以用于特征提取,目标跟踪,运动估计和模式识别^[1]等应用之中。Freeman^[2]等设计了一阶、二阶乃至更高阶的可调滤波器,可调滤波器就是一个能进行多分辨率分析的方向滤波器。与小波一样,它也是基于几个基滤波器,其他任意方向的滤波器均可通过这几个基滤波器插值得到,因此重要的是基滤波器的个数和合理的插值。Simoncelli 等^[3]在 Freeman 的基础上改进了可调滤波器,设计了可调楔形滤波器,在减少虚假响应方面做了积极的研究。

边缘检测一直是图像处理中的难点和重点,是其他许多图像处理算法的前提和基础。图像中的边缘是图像中的奇异点的集合,边缘检测算法则需要发现这些奇异点并对其进行准确定位^[4,5]。边缘检测算法有基于梯度的方法,因为图像边缘出现的位置也就是梯度变化比较大的地方,可以通过对一阶梯度,二阶梯度(过零点检测)^[7]进行分析和处理。这种梯度检测的方法很难去处噪声的干扰。小波对于奇异信号的处理是很有用的,所以基于小波^[9]的边缘检测算法也能达到比较好的检测效果。边缘检测还可以利用参数模型的方法。使用一系列离散正交多项式基于最小二次优化准则来重构图像的灰度

曲面,然后使用拟合得到的参数模型来进行一些分析和处理,如检测边缘。在所有的边缘检测算法中, Canny 算法一直被认为是最经典的算法,一般使用该算法来验证其他算法的正确性和可靠性。

在 Canny 算法使用了高斯滤波器平滑图像,然后使用一阶差分对水平方向和垂直方向分析而得到某个点的梯度向量,只是使用了该点的四邻域特性。这其实也存在了一个假设,就是假设水平方向和垂直方向的分量能够完全重构梯度分量。这个假设在边缘较为复杂的情况下是很容易出现较大的偏差的。本文充分利用某个点的领域信息,将可调滤波器结合应用到 Canny 算法中,在一定程度上能提高边缘检测和消除虚假边缘的能力。传统的 Canny 实现方法使用较多的条件判断语句来进行分析,本文对各种条件判断进行了综合,使用一个统一的矩阵表达式来分析 Canny 算法的实现,这种形式对于理解 Canny 算法和 Canny 算法的方向滤波器实现乃至三维实现都具有较大的积极作用。根据矩阵形式,我们设计了多个边缘检测模版,在模板的基础上进行边缘检测。文中还使用实例来验证改进算法的边缘检测和边缘保持能力。

本文第 2 节对可调滤波器进行了初步的分析,第 3 节将可调滤波器应用到 Canny 算法,并给出了新算法的算法流程;第 4 节给出了算法实现的结果,并与传统的 Canny 算法进行比较;本文最后进行了总结。

2 可调滤波器的研究基础

在 Canny 算法中,使用了高斯滤波器和它的一阶差分,主要对 x 方向和 y 方向进行处理。然后用线性插值的方法来求得边缘的角度和梯度^[6],计算公式如式(1)和(2)。

$$I_x(x, y) = f(x, y) * G_x(x, y) = f(x, y) * (-$$

$$\begin{aligned}
 & 2xe^{-x^2+y^2}) \\
 I_y(x,y) &= f(x,y) * G_y(x,y) = f(x,y) * (- \\
 & 2ye^{-x^2+y^2}) \\
 I(x,y) &= \langle I_x(x,y), I_y(x,y) \rangle^{1/2} \quad (1) \\
 \theta(x,y) &= \arctan(I_y(x,y)/I_x(x,y)) \quad 0 \leq \theta < 2\pi \quad (2)
 \end{aligned}$$

事实上边缘平面并不是一个线性平面,所以插值结果往往有较大的误差。使用方向滤波器,准确结果可以通过式(3)给出。

$$\begin{aligned}
 \theta_x^* &= \arg \max_{\theta} (I^*(x,y)) \quad (3) \\
 I^*(x,y) &= f(x,y) * G^{(\omega)}(x,y)
 \end{aligned}$$

首先要确定基滤波器的构成及其个数,然后确定其他方向滤波器由基滤波器合成的插值方法。这在文中[2]给出了相关构造及其证明,本文仅仅引用结果。

$$\begin{aligned}
 G^{(\omega)}(r,\Phi) &= h(\Phi-\alpha)g(r) \\
 &= \sum_{n=1}^N k_n(\alpha)h(\Phi-\alpha_n)g(r) \quad (4)
 \end{aligned}$$

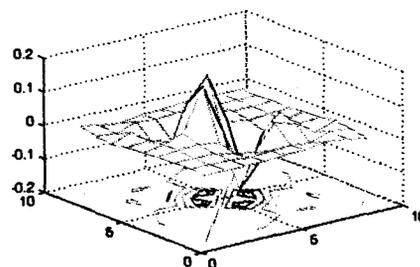
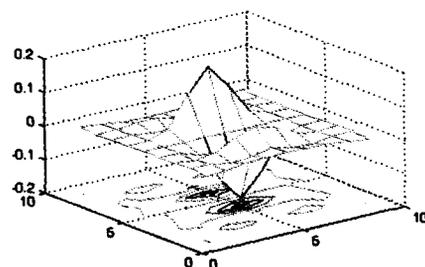
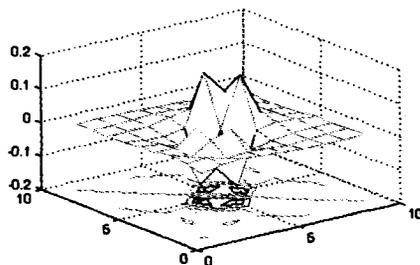
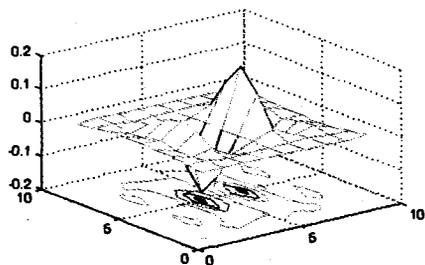


图1 方向滤波器 a) 0° Filter b) 45° Filter c) 90° Filter d) 135° Filter

3 基于可调滤波器的边缘检测算法

根据式(3),要对所有的角度进行计算然后求极值,这是一项计算复杂度很高的工作。而且对于离散的图像来说也没有必要。我们选择几个主要的方向滤波器,算法步骤如下。

1. 选定合适的平滑因子 σ ,将图像 $f(x,y)$ 与高斯函数 $G(x,y)$ 进行卷积,得到 $I(x,y)$;
2. 首先计算出 $I(x,y)$ 中每个像素的四个方向的梯度 $I_x, I_{45}, I_y, I_{135}$, 分别对 I_x 和 I_y, I_{45} 和 I_{135} 使用传统 Canny 算法的非极大抑制方法计算,如果其中有一个结果满足非极大抑制的条件,则认为该点是候选边缘点,送到双阈值方法进一步确认,否则认为该点是非边缘点。

其中 $G^{\alpha}(r,\Phi)$ 是一个任意角度 α 的滤波器,可以分离成角度部分 $h(\Phi-\alpha)$ 和长度部分 $g(r)$ 的乘积。同时角度部分可以由多个基滤波器 $h(\Phi-\alpha_n)$ 合成,基滤波器的系数为 $k_n(\alpha)$ 。

如高斯滤波器的一阶导数构成的基滤波器需要两个,分别为 $G^0(r,\Phi)$ 和 $G^{90}(r,\Phi)$ 。

$$\begin{aligned}
 G^0(r,\Phi) &= \frac{dG(r,\Phi)}{dx} = -2r \cos(\Phi-0)e^{-r^2} \\
 &= h(\Phi-0)g(r) \\
 G^{90}(r,\Phi) &= \frac{dG(r,\Phi)}{dy} = -2r \cos(\Phi-90)e^{-r^2} \\
 &= h(\Phi-90)g(r)
 \end{aligned}$$

所以任意方向的滤波器为

$$G^{\alpha}(r,\Phi) = -2r \cos(\Phi-\alpha)e^{-r^2} = k_1(\alpha)h(\Phi-0)g(r) + k_2(\alpha)h(\Phi-90)g(r) \quad (5)$$

其中 $k_1(\alpha) = \cos(\alpha), k_2(\alpha) = \sin(\alpha)$
文中使用的方向滤波器如图 1 所示。

3. 应用双阈值方法进行后阈值化处理,消除虚假响应。

4 实验结果及其分析

原始图像 shape 如图 2(a)。使用 Canny 算法得到的边缘检测结果如图 2(b),因为 Canny 算法的输入参数 σ 和阈值等会影响最终结果,使用同样的参数可以消除参数选择对结果的影响,这组我们选取参数 $\sigma=2, Hyst_low=0.5, Hyst_high=0.8$ 来计算,使用改进算法得到的边缘检测结果如图 2(c)。图 2(b) 和 2(c) 的差值结果图示如图 2(d), (d) 中的白色部分是 (b) 没有检测而 (c) 检测出来的部分,灰色部分是相同的部分,而黑色部分是 (c) 没有检测而 (b) 检测出来的部分。图 3 中的结果是使

用了另一组参数 $\sigma=2$, $Hyst_low=0.2$, $Hyst_high=0.8$ 得出的结果及其比较。从两组结果的比较中来看,改进算法能够发现传统算法不能发现的较大

的轮廓线,说明改进算法在边缘检测方面有较强的优势。同时改进算法中参数的变化对结果的影响相对要小得多,说明该算法具有较强的鲁棒性。

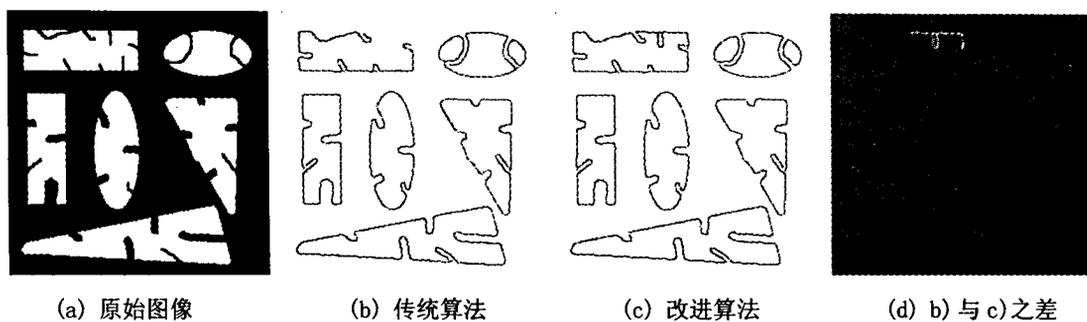


图 2

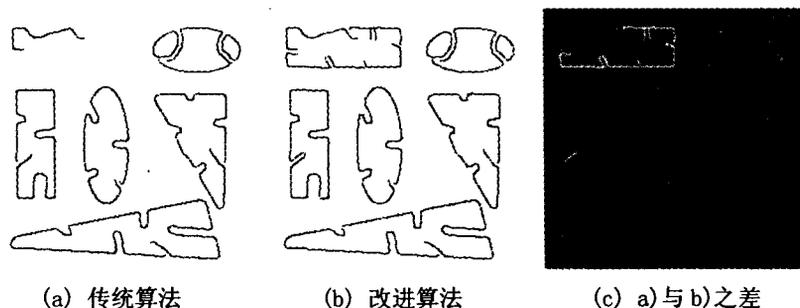


图 3

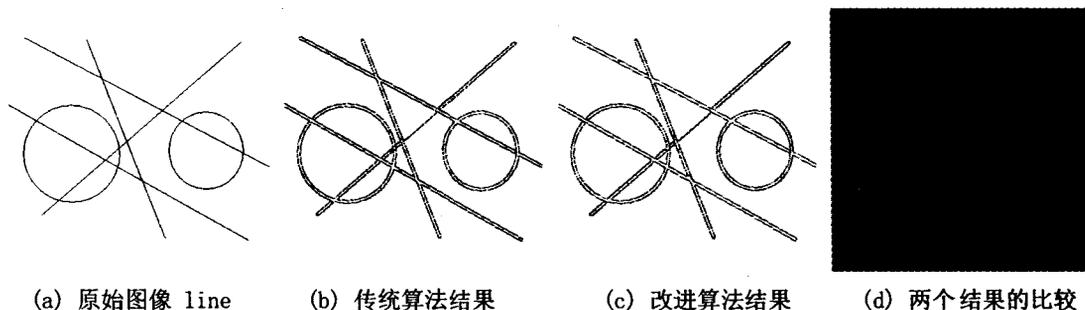


图 4

图 4(a)是一些简单的几何形状构成的图像,使用传统和改进算法的结果如 4(b)和 4(c),比较如图 4(d)。从图 4(b)与图 4(c)的比较中可以发现,图 4(b)的直线出现断点,而图 4(c)却没有,说明改进算法在边缘保持能力上比传统算法要强。

结论 本文根据边缘的方向特征,使用方向滤波器对传统的 Canny 算法进行了改进,实验证明,在边缘检测和边缘保持能力上面,改进算法比传统算法有较大的优势,并且改进算法具有较强的鲁棒性。方向滤波器能够更好地描述边缘的特性,提供更多关于边缘的信息,将方向滤波器与传统的边缘检测算法结合起来使用,效果比较理想。

参考文献

- 1 Stuke I, Arch T, et al. Analysis Superimposed Oriented Patterns[C]. IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, 2004
- 2 Freeman W T, Adelson E H. The Design and Use of Steerable Filters[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intel-

- ligence, 1991, 13(9)
- 3 Simoncelli E P, Farid H. Steerable Wedge Filters for Local Orientation Analysis[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1996, 5(9)
- 4 Heath W, Sarkar S, et al. Comparison of Edge Detectors-A Methodology and Initial Study[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1998, 69(1)
- 5 Sonka M, Hlavac V, Boyle R. Image Processing, Analysis and machine vision(2nd Ed.)[M]. 艾海舟译. 北京:人民邮电出版社, 2003
- 6 Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679~698
- 7 Parker J P. Algorithms for Image Processing and Computer Vision[M]. John Wiley and Sons, Inc, 1997
- 8 张贤达. 现代信号处理(第二版)[M]. 北京:清华大学出版社, 2002
- 9 Chui C K. An introduction to wavelet[M]. New York: Academic Press Inc, 1992
- 10 Mitra S K. 数字信号处理-基于计算机的方法(第三版)[M]. 北京:电子工业出版社, 2006
- 11 Jain A. Fundamental of Digital Image Processing[M]. Prentice-Hall, Inc, 1989
- 12 Pratt W K. Digital Image Processing[M]. John Wiley and Sons, Inc. 2001