

文章编号:1001-9081(2006)08-1845-03

基于视觉感知的双层次阈值边缘连接方法

王小鹏, 王紫婷

(兰州交通大学 电子与信息工程学院, 甘肃 兰州 730070)

(hl_wangxiaopeng@sina.com)

摘要:边缘是图像目标的重要特征,但通常边缘检测得到的边缘存在不连续现象,为此在分析传统边缘连接方法的基础上,利用人类视觉系统对边缘连接的多层次感知机理,提出了一种基于视觉感知的双层次边缘连接方法。该方法首先利用大、小阈值产生相应的大、小阈值图像计算其差值以确定模糊边缘点;然后利用人类视觉系统对边缘连接的感知特性系数判别模糊边缘点中真正的边缘点,并将真正的边缘点添加到大阈值图像,使大部分重要的区域边缘能够形成完整的封闭轮廓。仿真实验结果表明,该方法能够有效地改善边缘检测后的边缘不连续现象,相比一些传统的边缘连接方法,运算速度较快,连接效果较好,能满足边缘检测的轮廓封闭性要求。

关键词:边缘检测;边缘连接;视觉感知;双层次阈值

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Visual perceptual edge linking based on two-level threshold

WANG Xiao-peng, WANG Zi-ting

(School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Edge is an important feature of image, but the edges obtained by the traditional edge detection usually are not continuous. Therefore, a two-level threshold edge linking based on visual perception with hysteresis was proposed, which employed the principal of human visual multi-level perception of edge linking. First, high and low thresholds were used to produce their threshold images respectively. Then, the difference between high and low threshold images was served to fuzzy edge image. After that, for each fuzzy edge point, several weighted visual perceptive factors were summed to judge whether it was a real edge or not. If it was a real one, then this fuzzy edge point would be added to high threshold image as an edge point. By this way, most essential edges were linked and closed edge boundary of object was generated. Simulation results show that the method can efficiently link gaps between edges. Compared with the traditional edge linking methods, the proposed method is fast and the effect of edge linking is favorable to meet the needs of edge linking demand in some applied cases.

Key words: edge detection; edge linking; visual perception; two-level threshold

0 引言

从理论上讲,图像边缘检测应能产生封闭的轮廓,但通常情况下,大多数的边缘检测方法均不能得到封闭的轮廓。造成边缘不连续的原因有多方面的因素,如噪声的干扰、图像中的背景和目标的灰度(或色彩等)对比度相对较小、图像内容的复杂性以及所采用的边缘检测方法等。但边缘检测过程中阈值的处理是造成边缘不连续的一个重要原因,通常最佳阈值能保证大部分边缘轮廓被检出,却无法保证检出所有的边缘信息。尽管这对于图像特征分析不会造成致命的影响,但对于图像分割而言,其目的就是将图像根据灰度(或纹理、色彩等)特征的不同划分为若干个区域,区域的轮廓在某种意义上就是边缘。因此,从图像分割的角度来看,要想使检测出的边缘成为不同区域间的分界线,还需要对检测出的边缘进行连接,使大部分重要的区域边缘能够形成完整的封闭轮廓。

边缘连接的方法很多^[1-3],如局部连接法、Hough 变换^[4],图搜索法,Canny 边缘检测^[5]等。基于局部处理的边缘连接通常适用于小缝隙的边缘连接,并且能去除边缘图像中

的孤立边缘点。Hough 变换在采用直线或曲线段连接边缘端点时,会导致边缘的定位偏移,其次若距离门限选择过低,由噪声引起的假边缘会被重新引入到边缘图像,而如果距离门限选择过高,又会增加运算量。图搜索法的运算复杂度较高。Canny 边缘检测首先运用高斯尺度空间滤波器产生尺度图像,然后采用双阈值消除假边缘,尽管 Canny 边缘最终会产生双边缘且不能产生完全封闭的边缘,但这种以双阈值方式减少边缘不连续的思路,有很大的借鉴意义。

阈值滞后法^[6]利用双阈值(大阈值和小阈值)将边缘点划分为真正的边缘和模糊边缘(有可能为真正的边缘),然后利用边缘松弛法以迭代方式将模糊边缘点中真正的边缘点添加到大阈值边缘中,但阈值滞后法仍存在产生新边缘间断的缺陷。

基于上述传统边缘连接方法中存在的问题和不足,本文提出了一种基于视觉感知的双层次边缘连接方法,该方法充分利用了人类视觉系统(Human Visual System, HVS)对边缘的多层次感知机理,将单层次的阈值滞后边缘连接扩展到双层次,并依据 HVS 对边缘连接的感知特性因子,确定边缘的

收稿日期:2006-03-06;修订日期:2006-05-06

基金项目:兰州交通大学“青蓝”人才工程基金;甘肃省自然科学基金资助项目(3ZS051-A25-030)

作者简介:王小鹏(1969-),男,甘肃正宁人,副教授,博士,主要研究方向:图像分析与识别、多媒体信息处理;王紫婷(1954-),女,河北深县人,教授级高工,主要研究方向:数字信号处理。

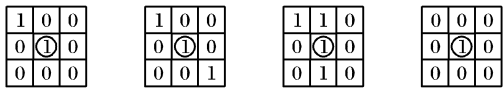
连接。

1 基于视觉感知的双层次边缘连接

根据 HVS 的感知机理^[7],人类视觉可以依据边缘间断的某些属性(如对齐、对称等),通过对边缘的多层次感知,并将感知信息加以综合来确定边缘端点间的连接,进而形成完整的区域边缘轮廓。

1.1 边缘点的分类

边缘图像中包含两种成分的像素点,一种为背景,另一种则为目标边缘点。目标边缘点可以分为四类,即边缘端点、边缘点、边缘交叉点以及孤立边缘点(如图 1)。边缘点分类的目的就是确定边缘点属于哪一类,分类的方法可通过边缘像素点(经细化^[12]后的边缘图像中的边缘像素点)对应的 8 像素邻接域内的像素数目确定,而邻接像素数目的确定方法类似于骨架化中邻接像素数目的计算。当邻接像素数目为 1 时,表明该边缘点只与一条直线相连,那么该边缘点必然为边缘端点(如图 1(a));当邻接像素数目为 2 时,表明该边缘点在边缘线上,则该像素点为边缘点(如图 1(b));类似地,当邻接像素数目大于等于 3 时,说明该边缘点有多条边缘线通过,该像素点为边缘交叉点(如图 1(c));当邻接像素数目为 0 时,意味着该像素点为孤立边缘点(如图 1(d))。这种判断边缘点的方式符合 HVS 的边缘感知机理。考虑到孤立边缘点及短边缘分枝可能为噪声或是细节所致,并且去除这些成分并不影响实质性的边缘连接,因此,在进行边缘连接之前,首先将这些孤立边缘点去除,以提高边缘连接的运算速度。



(a) 边缘端点 (b) 边缘点 (c) 边缘交叉点 (d) 孤立边缘点

图 1 边缘点的分类

1.2 双层次阈值滞后

不同于阈值滞后法,提出的边缘连接方法依据 HVS 对边缘的感知机理,将阈值滞后处理过程从单层次扩张到双层次,同时双层次阈值滞后边缘连接法沿用了阈值滞后处理中的大阈值和小阈值,但对原始图像的梯度图像运用大小不同的阈值进行初始处理,从而产生双层次的边缘图像,分别称为大阈值和小阈值图像。通常大阈值边缘图像中包含有较强的边缘成分,而小阈值边缘图像不但包含强边缘而且包含弱边缘。这样做的目的在于以大阈值边缘图像为参考,从小阈值边缘图像中提取真正的目标边缘。但要想提取真正的边缘,必须有一定的判断依据表明从小阈值边缘图像中提取的边缘为真正的边缘,而不是由噪声或细节干扰造成的假边缘。为此,需要确定边缘端点连接的判断依据,根据给定的判断依据确定小阈值边缘图像中的弱边缘是否为真正的边缘。

由于大阈值边缘图像中的边缘像素基本都是真正的边缘点,因此,判别过程主要集中在小阈值边缘图像中弱边缘点,而小阈值边缘图像中的边缘必然包含大阈值边缘图像中的强边缘点,这些强边缘点无需进行判断。为了从小阈值边缘图像中获取需要判断的弱边缘点,首先从小阈值边缘图像中除去对应于大阈值边缘图像中的所有边缘点,具体实现方法是对小阈值边缘图像和大阈值边缘图像的进行逻辑差分运算,差分运算结果(以下称为差分图像)即为需要判断的弱边缘点。对于大阈值边缘图像中的某一个边缘端点,检测出其在差分图像中的邻域像素点,如果为边缘点,追踪其对应的邻域

边缘以确定该边缘点是否与大阈值边缘图像中的另一边缘点相连,如果相连,那么可以判定该弱边缘为真正的边缘点。当以此方式处理完所有差分图像中的边缘像素后,即完成了边缘的连接过程。

1.3 真边缘点的判断准则

通过差分运算确定小阈值边缘图像中的模糊弱边缘点,存在两种可能性,即为非边缘点和真边缘点。如果某一弱边缘点满足给定的判断准则,则将其归入真边缘点集合。

假定 $i(x,y)$ 和 $j(x,y)$ 分别表示大阈值边缘图像中的某一边缘端点和待判断的小阈值边缘图像中的弱边缘点,那么可以通过以下几个因素的加权和来确定弱边缘点是否为真正的边缘点。

1) 梯度值因子:在小阈值边缘图像中,确定边缘端点 $i(x,y)$ 的梯度值 $\nabla i(x,y)$ 与 $\nabla j(x,y)$ 的差值,即:

$$\nabla = |\nabla i(x,y) - \nabla j(x,y)| \tag{1}$$

以此梯度值差值作为衡量候选的弱边缘点是否加入真边缘点集合的标准,差值越小,梯度值因子越大,表明该弱边缘点为真边缘点的可能性越大。

2) 方向因子:在小阈值边缘图像中,计算边缘端点 $i(x,y)$ 的梯度方向 θ_0 与该端点和 $j(x,y)$ 间连线方向 θ_j 的差,即:

$$\Delta\theta_{ij} = |\theta_0 - \theta_j| \tag{2}$$

以此方向差 $\Delta\theta_{ij}$ 值作为衡量候选的弱边缘点为真边缘点的标准,方向差值越小,相应的方向因子越大。

3) 距离因子:通过给定边缘端点 $i(x_i,y_i)$ 与候选弱边缘点 $j(x_j,y_j)$ 间的距离 d_{ij} 描述,距离越小,距离因子越大。:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \tag{3}$$

如果采用级别系数来表征给定弱边缘点的判别系数,那么判别系数则由以上几个因子的加权和来确定,将加权和作为判断弱边缘点是否为真边缘点的判别准则。

$$\omega_j = a\alpha_j + b\theta_j + cd_j \tag{4}$$

其中 α_j, θ_j, d_j 分别表示弱边缘点 $j(x,y)$ 的梯度值因子、方向因子和距离因子, a, b, c 分别为相应的加权系数,每一种因子的取值为 0 ~ 1,当某一因子值为 1 时,表明这一因素足以保证该弱边缘点为真边缘点。

上述几个因子中,依据 HVS 对不同因子的感知敏感程度不同,可对上述四种因子选取不同的权值,其中梯度值的权值最大,方向因子距离因子的权值最低。根据计算判别系数 ω_j 与设定的系数门限 ω_r 进行比较,确定该弱边缘点是否为真边缘点,即:

$$\begin{cases} \omega_j \geq \omega_r & j(x,y) \text{ 为真边缘点} \\ \omega_j < \omega_r & j(x,y) \text{ 为非边缘点} \end{cases} \tag{5}$$

当模糊弱边缘点判断为真边缘点后,即加入到大阈值边缘图像中,然后再对其他模糊弱边缘点进行判断,直至所有的模糊弱边缘点。

双层次与单层次的阈值滞后边缘连接方法相比,它们的共性在于阈值均独立地作用于图像,不同之处在于双层次阈值滞后法首先生成了两幅边缘图像。其中一幅边缘图像的像素值大于大阈值,而另一幅边缘图像的像素值则大于小阈值。第二个层次是在差分图像的基础上,以大阈值边缘图像中边缘端点为基础,对差分图像中的弱边缘点进行真伪判断,这样输出的边缘连接图像中必然包含大阈值边缘图像中的所有像素,

同时添加了小阈值边缘图像中那些判断为真边缘的像素点。

双层次阈值滞后法不同于简单的通过降低小阈值达到边缘连接的目的。单方面地降低小阈值,尽管可以检测出更多的弱边缘,但同时噪声和背景也会夹杂进来形成假边缘。由于双层次阈值滞后法在弱边缘判断中采用了基于视觉感知的多因子加权判别系数,因而保证了小阈值边缘图像中只允许弱边缘像素添加到大阈值边缘图像,在很大程度上抑制了噪声和背景产生的假边缘像素点。

2 仿真实验与分析

实验选取了一幅铝矿石灰度图像,该图像中的目标内容相对复杂,其中包含有较多的细节边缘成分。图 2(b)和图 2(c)分别给出了采用形态学梯度法在大阈值 $TH = 12$ 和小阈值 $TL = 5$ 时的大阈值和小阈值边缘图像,图 2(b)中边缘成分基本均为真正的边缘,但边缘间的不连续性较为突出,甚至一些区域的弱边界未被检出,相比之下,图 2(c)中的区域间边界连接性较好,但同时由噪声和非规则小细节引起的假边缘点和孤立点较多。图 2(d)给出了图 2(b)和图 2(c)的差分结果,通过第二层的“提升”系数判定(加权系数 a, b, c 分别为 0.6、0.25 和 0.15)后的边缘如图 2(e),可以看出,相比单层次的边缘连接(图 2(f)),双层次边缘连接的效果具有明显的边缘连接优势。

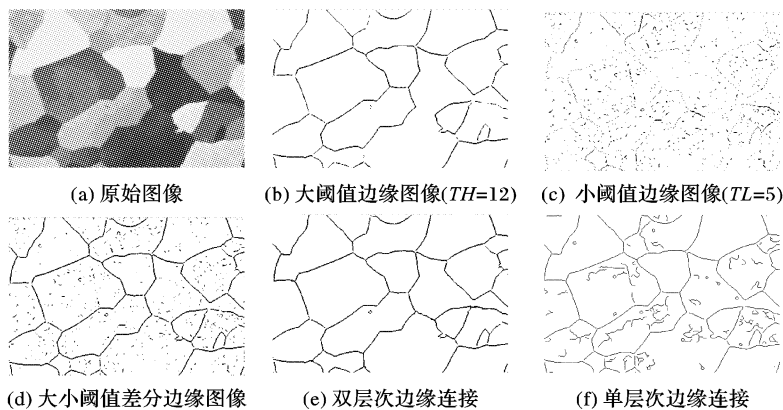


图 2 双层次与单层次阈值滞后边缘连接效果对比

(上接第 1837 页)

若为 false,则 TTP 验证 Sub_k, EOR_c , 若验证正确,则 $TTP \rightarrow X: \{f_2, f_6, O, R, l, k, Con_k, EOR_c\}$, TTP 将 $resolve_flag$ 置为 true, TTP 保存 $\{f_2, f_6, O, R, l, k, Con_k, EOR_c\}$, 协议结束;若验证错误,则 TTP 拒绝 X 的请求。

协议修改后, O 不能通过第一种攻击方法来获得优势,因为 R 在执行(5)时,由于 $Resolve$ 子协议已经执行,所以 R 能够从 TTP 得到 k 和 Con_k ,从而解密 c 而获得 m ; O 不能通过第二种攻击方法来获得优势,因为 TTP 验证 EOR_c 不是 R 对 Sub_k 的签名,从而拒绝 O 的请求; R 使用第三种攻击方法也不能获得优势,因为 O 可以发起 $Resolve$ 子协议,从而获得 EOR_c 。

4 结语

在安全电子商务的协议中,可信第三方(TTP)担任着重要角色,并通过 Exchange 子协议、Abort 子协议和 Resolve 子协议等三种不同子协议起作用。本文通过分析,发现原协议在执行过程中并没有保证协议的参与方能够认证关键消息来

自正确的发送方,同时指出原协议在关键数据认证上存在缺陷,以及可能利用该缺陷发起的进攻方法。最后提出了相应的改进建议,并验证了其可行性,为相关研究提供了参考方案。

仿真实验也表明,要想使算法有效,必须保证用于生成大、小阈值边缘图像的高、小阈值的差值足够大,并且小阈值的选择应能去除图像中的背景和一部分由噪声导致的假边缘点,而大阈值则必须保证消除图像中由噪声导致的假边缘点,否则,会出现假边缘。

3 结语

提出了一种基于视觉感知的双层次边缘连接方法。该方法依据人类视觉系统对边缘连接的多层感知特性,在大小阈值差分图像的基础上,以多个视觉感知因子的加权和作为模糊边缘点是否为真边缘点的判断依据,将单层次的阈值滞后边缘连接扩展到双层次,确定边缘的连接,使大部分的目标边缘能够形成完整的封闭轮廓。相比一些传统的边缘连接方法,运算速度较快,连接效果较好,能满足一些应用场合对边缘检测的轮廓封闭性需要。

参考文献:

- [1] KOSTER ASE, VIMCKEN KL, DE GRAAF CN, *et al.* Heuristic linking models in multiscale image segmentation[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1997, 65(3): 382-402.
- [2] GONZALZ RC, WOOD RE. *Digital image processing*[M]. Prentice Hall, 2003.
- [3] CASTLEMAN KR. *Digital image processing*[M]. 北京:清华大学出版社, 1998.
- [4] TOMORI Z. Border detection of the object segmented by the pyramid linking method[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1995, 25(1): 176-181.
- [5] 章毓晋. *图像分割*[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [6] BRYAN SM. Thresholding with hysteresis[D]. Lecture 16: Segmentation, Brigham Young University, 2000. 1-3.
- [7] WITKIN A, TENENBAUM J. *Human and machine vision*[M]. New York: Academic Press, 1983.

自于正确的发送方,同时指出原协议在关键数据认证上存在缺陷,以及可能利用该缺陷发起的进攻方法。最后提出了相应的改进建议,并验证了其可行性,为相关研究提供了参考方案。

参考文献:

- [1] BLUM M. How to Exchange Secret Keys[J]. *ACM Transactions on Computer Systems*, 1983, 1(2): 175-193.
- [2] DENG RH, GONG L, LAZAR AA, *et al.* Practical protocols for certified electronic mail[J]. *Journal of network and systems management*, 1996, 4(3): 279-297.
- [3] ZHOU J, GOLLMANN D. A fair non-repudiation protocol[A]. *Proceedings of 1996 IEEE Symposium on security and Privacy*[C]. 1996. 55-61.
- [4] ASOKAN N, SHOUP V, WAIDNER M. Asynchronous protocols for optimistic fair exchange[A]. *Proceedings of IEEE Symposium on Research in Security and Privacy*[C]. 1998. 86-99.
- [5] QING SH. The TTP Roles in Electronic Commerce Protocols[J]. *Journal of Software*, 2003, 14(11): 1936-1943.