

一种基于区域一致性测度的边缘评价方法

杨 烜 梁德群

(西安交通大学电子与信息工程学院图象所, 西安 710049)

摘要 提出了一种新的边缘评价方法,该方法同时考虑到边缘线型连接的好坏及错检、漏检的程度,结合了传统边缘评价方法各自的优点,更多地体现了人对边缘检测效果的评价特点。文中对测试图象及实际图象的边缘检测结果进行了评价,结果表明该评价方法是合理、可行的。

关键词 边缘检测 边缘评价

0 引言

边缘检测在计算机视觉中有着重要的意义。图象边缘检测的结果需要有一个客观的评价方法。边缘评价方法一般有两类,一类是 Kitchen^[1]提出的基于边缘局部相关性的方法,该方法评价检测出的边缘的线型连接程度,但这种方法不考虑边缘的错检、漏检以及边缘的偏移,对加噪图象检测出的边缘,其评价结果不准确;另一类是 Venkatesh^[2]在标准边缘图的基础上,判断检测结果中存在的错检、漏检、边缘偏移以及重检的情况,其评价结果比文献^[1]准确,但文献^[2]中需要标准边缘图作参考图,在实际应用中,标准边缘图很难得到,另外,该方法不考虑线型连接情况,断边与不断边的评价是相近的。但从人的视觉特征及后期视觉的需求来讲,边缘连接程度好的情况其评价应高于断边的情况。

人类的视觉研究表明,“图象知觉主要取决于客观刺激物的相互关系”^[3]。图形知觉不是图形各部分简单的相加,而是由各部分有机组成的。人类的图形识别具有以下几个特点:(1)图形在空间上比较接近的部分容易形成一个整体。(2)有意义的图象比较稳定。(3)在一个按一定顺序组成的图形中,如果有新的成分加入,则这些新的成分容易看做是原来图形的继续。人类图形识别的这些视觉特征反映在图象

边缘检测结果的评价中,则表现对连续边缘评价较高,而对断边情况评价较低;对有意义的边缘评价较高,而对错检造成的无意义的杂乱噪声点评价较低。

基于传统边缘评价方法的优缺点和人类视觉的特征,本文提出了一种新的边缘检测方法,该方法同时反映了边缘的线型连接程度以及边缘错检、漏检的程度,不需要提供标准边缘图就可以进行评价。该方法综合了传统边缘评价方法的优点,体现了人类视觉的特点,其边缘评价结果相对而言更加客观、合理。

1 边缘评价中的参照图

在没有标准边缘图的前提下,我们需要参照图以判定图象中的边缘区和平滑区,为评价工作提供依据。为了判定边缘区和平滑区,我们首先定义边缘具有以下特征:(1)灰度突变。(2)是不同区域之间的边界。(3)具有方向性。根据边缘的定义,分析图象区域信息,以判定边缘区和平滑区。

以象素点 (c_i, c_j) 为中心的邻域 $R = \{(i, j) \mid |i - c_i| \leq L, |j - c_j| \leq L\}$, L 是邻域的长度。取过中心点 (c_i, c_j) 、沿着边缘轨迹方向 θ ,将邻域划分为两半 S_1, S_2 ,令

$$g_{s_1} = \sum_{(i,j) \in S_1} g_{ij}, g_{s_2} = \sum_{(i,j) \in S_2} g_{ij}, g_\theta = |g_{s_1} - g_{s_2}|$$

其中, g_{ij} 是象素点 (i, j) 的灰度值, 则 g_θ 是邻域 R 中边缘梯度。边缘轨迹方向 θ 的确定方法为: 将 θ 从 0° 旋转到 180° , 得到 N 个方向 θ_k 的 g_{θ_k} 值 ($k=1, 2, \dots, N$), 则

$$\theta = \text{Argmax} g_{\theta_k}, k=1, 2, \dots, N$$

g_θ 的值可以反映边缘的梯度, 同时也就反映了存在边缘的可能性。 g_θ 的定义同时考虑了灰度突变以及边缘方向的结构信息, 可以较准确地反映边缘存在的可能性。称 g_θ 为邻域 R 的一致性测度。

当邻域 R 中存在边缘时, 边缘附近邻域的一致性测度也会较大, 这些区域偏离了边缘的准确位置, 需要进行抑制, 以确保边缘区的准确。首先求出图象中所有象素点在邻域内的 g_θ 值, 在整图中求一次 g_θ 的局部极值, 以这些局部极值作为候选边缘点, 对于距离候选边缘点的距离大于 1 的象素点, 将其 g_θ 的值置 0。这样边缘区的宽度一般为 3 个象素。

图象中各象素点的一致性测度, 构成了图象的边缘参照图。可以利用判定阈值 T 来判断边缘区和平滑区。将整图 g_θ 的值离散化到 $[0 \sim 255]$, 统计整图的 g_θ 值, 得到相应的 g_θ 直方图。一般来讲, 整图 g_θ 的值大多分布在值较小的地方, 可以近似看做是一个高斯分布。令 h_i 是整图中 $g_\theta=i$ 的象素点的个数, 则:

$$T = a + 3\sigma^* \quad \sigma^* = \text{Arg Min}_{0 \leq \sigma \leq 255} |G - H|$$

$$\text{其中}, G = Ae^{-\frac{(x-a)^2}{\sigma^2}}, H = \sum_{i=a-3\sigma}^{a+3\sigma} h_i,$$

$$a = k \text{ 且 } h_k = \max_i h_i$$

利用标准边缘图对参照图进行评价, 以确定上述方法得到的参照图是否能有效地反映边缘存在的情况。我们使用两幅标准测试图分析参照图的准确性, 第 1 幅 Vertical 图反映单边缘情况; 第 2 幅 Ring 图中具有各个方向的边缘。这 2 幅图反映了大多数边缘的情况, 也是边缘评价方法中常用的测试图象^[1]。对这 2 幅标准图分别添加信噪比为 100、50、20、10、5、2 的零均值高斯噪声, 如图 1、图 2。信噪比 $SNR = (h/\sigma)^2$, 其中 $h=25$, σ 是噪声的方差。

定义图象集合 $\Omega = \{(m, n) | 0 \leq m < M, 0 \leq n < N\}$, 标准图为 Ω_1 , 参照图为 Ω_2 。标准边缘图中的边缘点集合为 $S = \{(m, n) | (m, n) \text{ 是边缘点}, (m, n) \in \Omega_1\}$, 参照图中边缘区为 $R = \{(m, n) | (m, n) \text{ 在边缘区}, (m, n) \in \Omega_2\}$, 平滑区为 $\bar{R} = \Omega_2 - R$ 。

定义参照图的漏判率 p_1 和错判率 p_2 为

$$p_1 = \frac{A_{S \cap \bar{R}}}{A_s}, \quad p_2 = \frac{A_{\bar{S} \cap R}}{C - 3A_s}$$

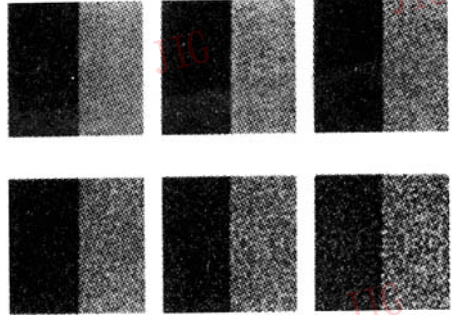


图 1 Vertical

信噪比分别为 100, 50, 20, 10, 5, 2 的标准图象

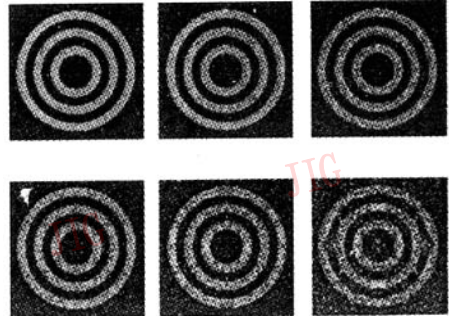


图 2 Ring

信噪比分别为 100, 50, 20, 10, 5, 2 的标准图象

其中 A_s 是标准图中边缘点个数, $A_{S \cap \bar{R}}$ 是标准图中边缘点落入参照图中平滑区的象素个数, $A_{\bar{S} \cap R}$ 是参照图中判定为边缘区, 而其中没有标准边缘点的象素个数, C 是整图象素点个数。表 1 是得到的不同信噪比图象的参照图的漏判率和错判率, 可以看到利用上述方法得到的参照图是比较可靠的, 可以作为判定边缘区和平滑区的依据。

2 基于参照图的边缘评价方法

边缘评价的度量将从以下几个评价指标来考虑: (1) 有效边缘的连接程度越高, 边缘评价越高。(2) 漏检边缘越少, 边缘评价越高。(3) 错检边缘越少, 边缘评价越高。这里没有考虑边缘定位偏差对边缘评价的影响, 这是因为在没有标准边缘图的前提下, 只能估计边缘存在的区域, 而无法准确定位边缘。但是在参照图中, 由于边缘存在的区域是在有限

表1 不同信噪比图象的参照图的性能参数

信噪比	Vertical		信噪比	Ring	
	漏检率	错检率		漏检率	错检率
100	0	0.009	100	0.001	0.001
50	0	0.009	50	0.001	0.001
20	0	0.009	20	0.002	0.004
10	0	0.01	10	0.004	0.0005
5	0.078	0.014	5	0.011	0.004
2	0.125	0.015	2	0.115	0.05

的范围内,如果检测的边缘超出这个范围,即发生较大的偏差,可以认为是漏检、错检发生。虽然没有显式地指出边缘定位对评价结果的影响,但偏差过大的边缘会在漏检、错检中反映出来。另外,考虑到局部极值检测边缘的方法,重检是很少发生的,因此我们不考虑重检对边缘评价的影响。

令,边缘检测图 $\Omega = \{(m, n) | e(m, n) = 0 \text{ 或 } 1, 0 \leq m < M, 0 \leq n < N\}$,边缘点集合为 $E = \{(m, n) | e(m, n) = 1, (m, n) \in \Omega\}$,参照图中边缘区为 R ,平滑区为 $\bar{R} = \Omega_2 - R$ 。 $A_E = E$ 中元素个数, $A_R = R$ 中元素个数。 $C =$ 整图象素点个数。

2.1 线型连接程度 L

对检测出来的每一个边缘点 (i, j) ,判定其 3×3 邻域内(不包括该边缘点)存在的其它边缘点的个数 n_{ij} ,若 $n_{ij} < 2$,则判定边缘点 (i, j) 为断点,否则为连接点。定义

$$L = 1 - \sum_{(i,j) \in E \cap R} a_{ij} / A_{E \cap R} \quad a_{ij} = \begin{cases} 1 & n_{ij} < 2 \\ 0 & n_{ij} \geq 2 \end{cases}$$

其中, $A_{E \cap R}$ 是边缘检测结果图中的边缘点落在参照图边缘区的个数。断点越多,连接程度 L 越小,断点越少,连接程度 L 越大。

2.2 错检率 N

$$N = \frac{kA_{E \cap \bar{R}}}{C - A_R}$$

其中, $A_{E \cap \bar{R}}$ 是检测出的边缘点落在参照图中的平滑区的像素点个数, $C - A_R$ 是平滑区像素点的个数。参数 k 的选择保证 $N \leq 1$ 。

2.3 漏检率 F

$$F = \begin{cases} 0 & \text{若 } A_R/3 < A_E \\ 1 - \frac{A_E}{A_R/3} & \text{若 } A_R/3 \geq A_E \end{cases}$$

由于一个边缘点所处的边缘区有3个象素宽,所以 $A_R/3$ 就是预估的有效边缘点个数。

将评价的3个指标综合起来,可以定义新的边缘评价度量 M_e ,评价度量 M_e 由3项指标的加权和表示

$$M_e = \alpha L + \beta(1 - N) + \gamma(1 - F)$$

其中 $\alpha + \beta + \gamma = 1$,加权系数表示不同评价指标对评价度量的影响程度。

3 实验结果

我们先对两幅标准图进行边缘评价,使用 Canny 算子^[4]进行边缘检测,算子取同一窗口大小(15 × 15)和相同阈值,评价加权系数分别取 $\alpha = 0.3, \beta = 0.4, \gamma = 0.3$ 。图3(a)、(b)分别是 Canny 算子对 Vertical (SNR = 100, 50, 20, 10) 和 Ring (SNR = 100, 50, 20, 10) 图象的边缘检测结果,表2(a)、(b)是本文的评价方法对图3(a)、(b)的评价结果。图4是不同窗口大小(3 × 3, 7 × 7, 15 × 15, 31 × 31)的 Canny 算子在对 Lena 图象边缘检测结果,表3是本文的评价方法对图4的评价结果。可以看出,若边缘检测结果中噪声较强时(如图3(a.3)、(a.4)、(b.3)、(b.4)),错检指标就较大;若检测结果连接程度较好时(如图4(c)),连接指标较大;若边缘检测结果中检测的边缘较少时(如图4(d)),漏检指标就较大。从实验数据可以看出本方法的评价结果是比较合理、客观的。

表2 图3的评价指标

(a) Vertical 边缘检测结果的性能评价指标					(b) Ring 边缘检测结果的性能评价指标				
信噪比	L	$1 - N$	$1 - F$	M_e	信噪比	L	$1 - N$	$1 - F$	M_e
100	0.88	0.98	0.83	0.91	100	0.7	0.98	0.86	0.86
50	0.68	0.82	0.92	0.81	50	0.6	0.85	0.92	0.79
20	0.66	0.68	0.94	0.75	20	0.59	0.7	0.95	0.74
10	0.7	0.55	0.95	0.71	10	0.64	0.58	0.96	0.71

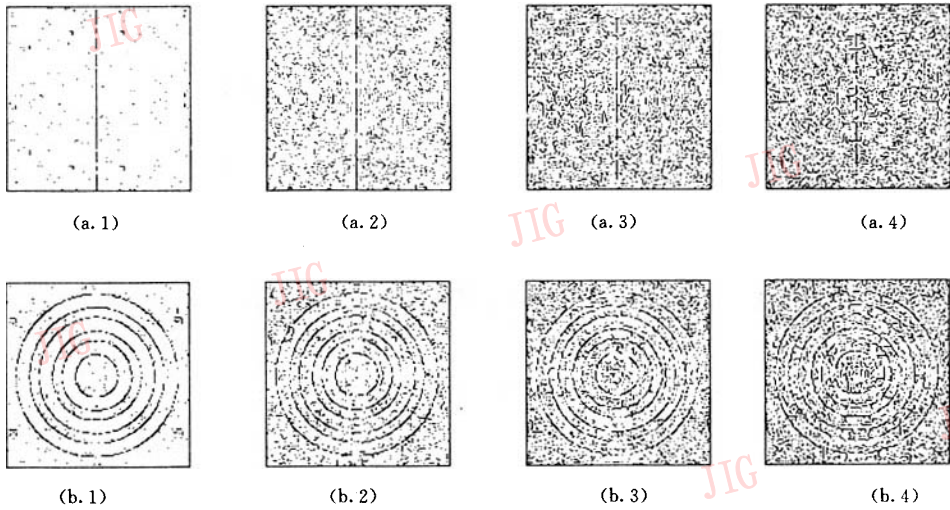


图 3 (a)Vertical 不同信噪比图象的 Canny 算子检测结果 (b)Ring 不同信噪比图象的 Canny 算子检测结果

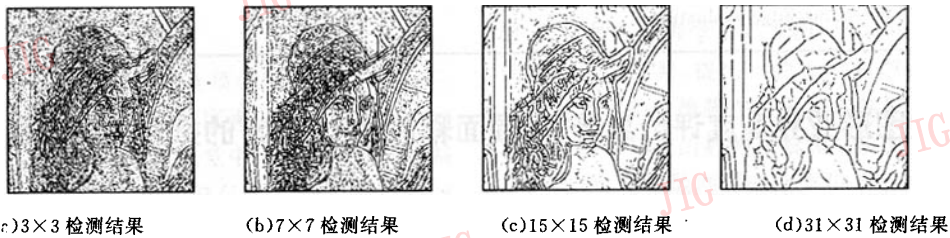


图 4 Canny 算子对 Lena 图象的边缘检测结果

表 3 Lena 图象边缘检测结果的性能评价指标

窗口大小	L	$1-N$	$1-F$	M_e
3×3	0.74	0.65	1	0.78
7×7	0.86	0.78	1	0.87
15×15	0.89	0.91	1	0.93
31×31	0.86	0.97	0.68	0.85

4 结论

边缘检测的性能评价问题是一个非常重要而又始终没有得到较好解决的问题。本文提出的边缘评价方法综合了传统边缘评价方法的优点,同时考虑了边缘连接程度以及错检、漏检的情况。该方法通过分析原图象,得到边缘评价的参照图,该参照图可以作为边缘评价的参考依据。文中提出的评价方法可

以同时判定边缘连接程度和错检、漏检的程度。实验表明该方法是合理、可行的。

参考文献

- 1 Kitchen L, Rosenfeld A. Edge Evaluation Using Local Edge Coherence. IEEE Trans Syst Man, Cybern., 1981, SMC-11(9): 597~605.
- 2 Venkatesh S, Kitchen L. Edge Evaluation Using Necessary Componets. CVGIP, 1992, 54(1): 23~30.
- 3 荆其诚,焦书兰,纪桂萍. 人类的视觉. 北京:科学出版社,1987.
- 4 Canny J. A Computational approach to edge detection. IEEE Trans. PAMI., 1986, 8(6): 679~698.
- 5 Lunscher W, Beddoes M. Optimal Edge Detector Evaluation. IEEE Trans Syst Man Cybern, 1986, SMC-16:304~312.
- 6 Marr D, Hildreth E. Theory of Edge Detection. Proc Roy Soc London, 1980, B207:187~217.



杨 焜 西安交通大学电子与信息学院博士生。1991年获西安电子科技大学计算机软件专业学士学位,1994年获西安交通大学计算机专业硕士学位。主要从事计算机视觉、模式识别方向的研究。

梁德群 西安交通大学电子与信息学院博士生导师,教授。主要从事图象处理、模式识别、工业图象检测等方向的研究。

A New Edge Evaluation Using Region Homogeneous Measure

Yang Xuan, Liang Dequn

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract A new method of edge evaluation is proposed, based on the good form of the detected edge and different kinds of errors that can occur in edge detection. It combines traditional edge evaluation methods and has the advantage of not requiring ideal edges to be known. This method is proved to be effective and feasible by experiment.

keywords Edge detection, Edge evaluation

图象图形业界高度评价惠普“大幅面彩色输出中心”的推广与认证活动

自1998年5月以来,惠普公司率先发出了“大幅面彩色输出中心”的推广与认证活动。这是惠普公司今年在亚太地区组织的重大行动之一,它的开展为专业的大幅面打印输出市场填补了空白。自1997年春天惠普公司推出了第一台HP DesignJet 2X00CP系列的大幅面打印机。立即受到许多行业的青睐,尤其是输出领域的专业人士,如获至宝,惠普大幅面打印机理想的输出效果当仁不让地成为他们的首选,乃至给一些新的行业,如婚纱摄影、洗相店、服装设计、装饰装修等也带来机遇。98年惠普公司又再次推出了HP DesignJet 3X00CP系列,在保持HP DesignJet 2X00CP系列卓越性能的同时,又在幅宽方面超越到1.37米。为广告制作、专业输出的用户提供了最成熟的设备。

以前做输出中心,选用输出设备,实在是一件很困难的事情,要达到高清晰度的输出,只有选择象静电写真这样价格昂贵的机器,但应用起来并不方便,而且稳定性差,维修困难。HP DesignJet CP系列大幅面打印机这样的设备所提供的图像质量与昂贵机器打印出来的图像没有什么区别,能达到相片质量,且操作灵活、价格低廉、出图速度快。又加上其具有可调节多种打印模式功能及提供户内、户外两种大容量的供墨方式。最适合经营需要高精度质量的输出业务。为此惠普推出了“大幅面彩色输出中心”的认证活动。凡具有HP DesignJet CP系列的大幅面打印机、拥有专业的制作人员、有临街不小于三十平米店面的公司,都有资格申请做惠普公司的输出中心。等审批合格后,由惠普公司负责把这些店面设计装修成统一的店面形象。到目前为至,全国已有23个省、市50多家公司成功地被惠普公司认证为“惠普大幅面彩色输出中心”。如果您漫步在北京街头或出差旅游在外,您会发现“惠普大幅面彩色输出中心”的醒目标志呈现在您的面前。它无处不在满足用户的需求。

惠普大幅面彩色输出中心会给各界用户提供完整的解决方案,因为它具有以下几点:1. 设备精良;2. 拥有高素质的专业技术人员;3. 价格合理;4. 真600DPI的输出质量,可达到相片效果;5. 提供高质量的服务。惠普公司会不断完善对这些“输出中心”的支持。有了这样的“输出中心”,一切就简单得多了,象设计院,包括电信,建筑,机械等行业,他们可以把您所创意的任何稿件打印成满意效果;商场、写字楼或展览公司作招贴、展板、灯箱片都可让惠普认证的输出中心制作出高品质及任意尺寸的图片。摄影界、美术界的专家人士也可通过大幅面打印机完成您最富创作的佳品。甚至您精美的照片都可拿到这里来放大,HP DesignJet 快捷的输出会令您惊叹不已,不仅节省了时间及金钱,又带给您传统的洗相技术所表达不出的丰富色彩。

由于惠普公司的大幅面打印机一直在业界占有领先地位。成立输出中心的这一举措又成为行业的领航者。这无疑又打开了一个新的市场。

此举正受到图象图形业界的广泛关注,各界专家普遍认为惠普开展“大幅面彩色输出中心”的推广与认证活动是一个创举,填补了专业大幅面打印输出市场的空白,为各行各业专业输出需求提供了理想的输出服务。