

图像过渡区算法及其改进

乐 宁¹⁾ 梁学军²⁾ 翁世修¹⁾

(¹⁾上海交通大学机械工程学院, 上海, 200030; (²⁾国家邮政局上海研究所, 上海, 200062)

摘要 分析了原有图像过渡区确定方法中的缺陷及其产生的根源, 根据过渡区内像素点具有的邻域方向性, 引入了基于一元线性回归处理的局部区域随机波动消除方法, 对大量的实际图像的处理结果表明, 这种方法将会大大提高过渡区判定过程的鲁棒性和定位精度。

关键词 过渡区, 图像分割, 一元线性回归。

THE ALGORITHM OF IMAGE TRANSITION REGION AND ITS IMPROVEMENT

LE Ning¹⁾ LIANG Xue-Jun²⁾ WENG Shi-Xiu¹⁾

¹⁾ School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

²⁾ Shanghai Institute of National Post Office, Shanghai 200062, China

Abstract The deficiency of original image transition region theory and its origin were analyzed. Based on the directional property of neighborhood pixels in the transition region, one-dimensional linear regression process was introduced to eliminate the influence of random fluctuations in local image regions. The practical results show that the robustness and the accuracy of new algorithm could be improved greatly.

Key words transition region, image segmentation, one-dimensional linear regression.

引言

图像分割在计算机视觉中具有重要的意义^[1-2], 借助于图像过渡区实现图像分割是近年来兴起的一种新方法. 图像过渡区是介于背景和前景之间的区域, 是一个特殊的区域, 它既有边界的特点, 将不同的区域(前景和背景)分开; 也有区域的特点, 其自身有宽度, 面积不为零. 过渡区在空间上位于目标和背景之间, 其中的像素的灰度也在对应的目标和背景之间. 文献[3]中提出了借助于对图像有效平均梯度(EAG)的计算和对图像灰度的剪切(CLIP)操作, 来确定图像过渡区灰度分布上下边界 L_{high} 和 L_{low} 的方法, 并证明了 L_{high} 和 L_{low} 不但唯一存在, 而且在实际图像中 L_{high} 总能大于 L_{low} .

图像过渡区的存在将会为图像中的前景和背景的分隔找到一条新的可靠的途径. 过渡区的确定过程中无需预先设定任何参数, 完全是一个自适应搜索的过程. 此外, 过渡区的确定方法对于目标的形状尺寸没有任何要求, 是一个典型的通用算法. 其中,

梯度和剪切计算都可以并行完成, 因而过渡区的搜索效率是很高的. 过渡区理论的这些优点使其在图像分割过程中获得了广泛的应用, 文献[4]利用过渡区实现了刀具图像边缘的提取, 而文献[5]则采用过渡区理论实现了低信噪比图像的分割.

1 原有过渡区算法的不足

但是, 已有的过渡区确定方法中, 有一个默认的前提, 即过渡区所在的图像区域是整幅图像中灰度变化最为剧烈的区域, 图像中的其它区域(前景和背景)即使有一定的灰度变化, 但其与过渡区相比, 其对有效平均梯度(EAG)的影响可以忽略不计. 这在某种程度上忽略了前景区域和背景区域中的噪声对过渡区确定过程的可能影响. 由于梯度算子会进一步放大图像中噪声的影响, 无视这些前景和背景噪声的影响, 可能会极大的影响过渡区的灰度分布范围的计算准确性. 今后若未加其它说明, 本文用标记 I 表示图像的灰度级, 反映的是图像中各部分的明暗信息, 这是一个无量纲的物理量; 用标记 W 表示

图像的宽度,单位为像素数; EAG_{high} 和 EAG_{low} 则为图像的高端剪切和低端剪切有效平均梯度,也是一个无量纲的物理量。

对于图 1(a)中所示的一维灰度分布曲线,其对应的梯度分布如图 1(b)所示,(c)则为通过原有过渡区计算方法得到的高端剪切和低端剪切有效平均梯度(EAG)曲线。由图 1 可以看出,即使在背景区域中出现变化幅度很小灰度值波动(仅为过渡区灰度变化幅度的 7%)的随机波动时,图像的 EAG_{low} 和 EAG_{high} 曲线也会发生了极大的变化(如图 1(c)所示),不但曲线的单峰特性无法保证,而且曲线上会出现很多毛刺,此时求出的过渡区的可靠性令人怀疑。为了能够在强噪声情况下实现图像中过渡区的可靠判定,有必要采取相应的措施,以消除干扰因素对过渡区判定过程的可能影响。

经过进一步实验分析,我们发现^[2]背景区域内出现的噪声对 $EAG_{high}(L)$ 曲线的形状影响较大;而背景区域内的噪声则对 $EAG_{low}(L)$ 曲线形状有较大的影响,这使得原有方法确定出的过渡区发生较大幅度的偏移,为此,有必要研究图像中可能出现的随

机波动的消除方法。

2 随机波动的消除

有关的研究成果表明^[7],图像边缘附近像素所对应的一维采样数据具有明显的邻域灰度统计特征的突变,而非过渡区(前景和背景区域)在任一方向上的一维数据都具有较为一致的邻域灰度统计特征,图像的过渡区也具有同样的性质,因此,一元线回归分析将是消除随机波动影响的一个有力的工具。对于来自图像中前景区域或背景区域内部的数据,由于其本身变化较小,当用一条直线进行拟合时,只要没有超出当前区域,拟合直线的斜率基本不会产生太大的变化,且该斜率较小;若这些数据是过渡区产生的,则拟合直线的斜率随采样数据的长度变化而变化,且存在一个采样长度,使拟合直线的线性度最高,此拟合直线斜率只与采样数据的分布有关,与采样数据的值本身关系较小,此外,该参数能够较好的反映出过渡区和非过渡区(背景和背景)之间邻域统计特征之间的差别,因此,完全可以将其作为衡量过渡区可能性的度量参数。

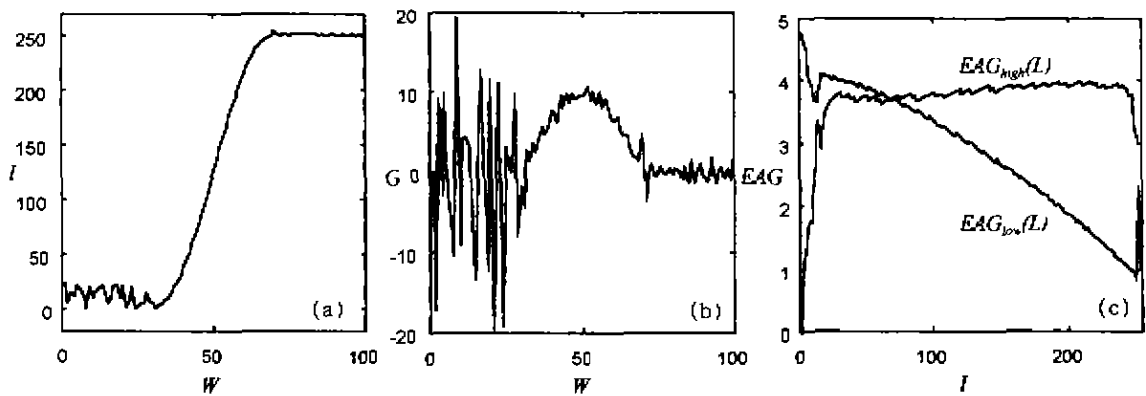


图 1 现有算法缺陷
Fig. 1 The drawback of present algorithm

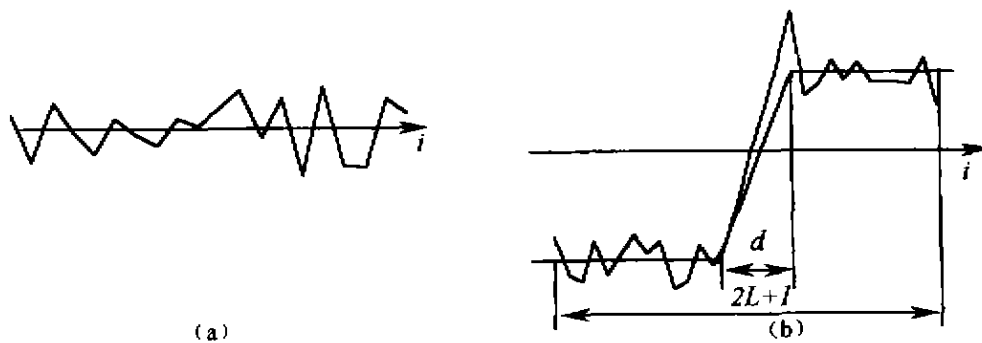


图 2 不同图像区域内的直线拟合
Fig. 2 Line fitting in different image regions

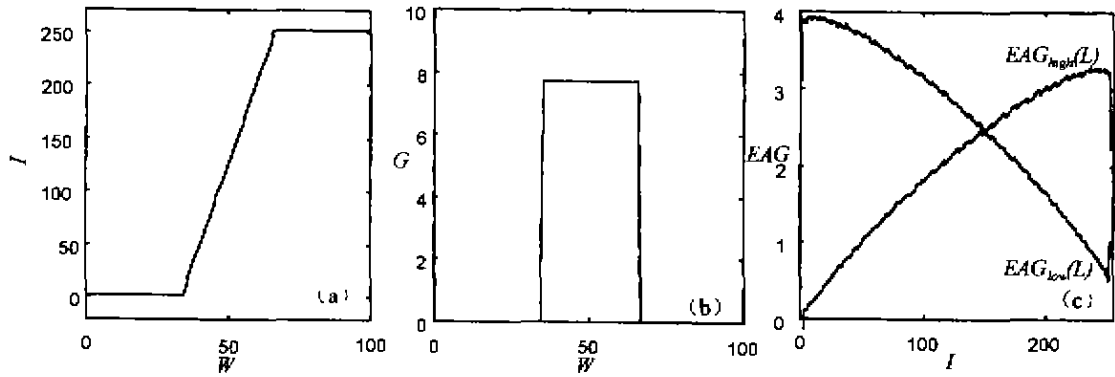


图 3 随机波动影响消除后的处理结果
 Fig. 3 Results after eliminating the influence of random fluctuations

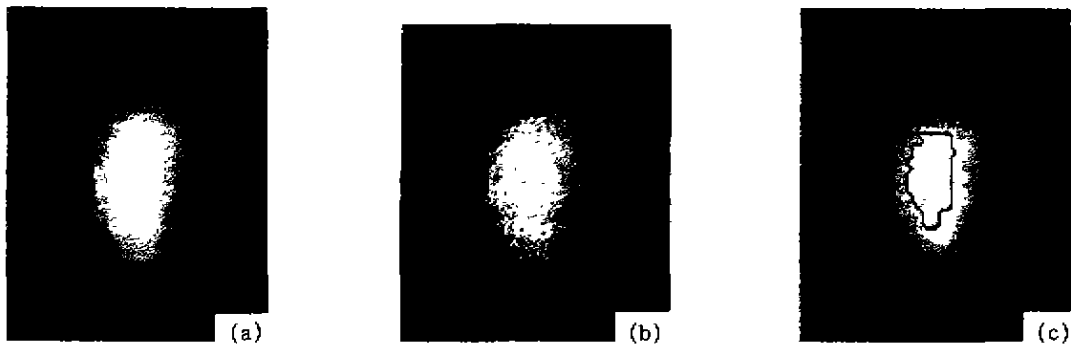


图 4 两种标法效果比较
 Fig. 4 Comparison between the results of two algorithms

设当前像素点的坐标为 (m, n) , 其邻域为 $R = \{(i, j) \mid |i - m| \leq L, |j - n| \leq L\}$, L 是可变的邻域长度. 以当前像素点为中心, 沿图像中的任意方向 i 在当前像素点的邻域 R 内采样 $2L + 1$ 个像素点, 各像素点的灰度值为 $x_{-L}, x_{-L+1}, \dots, x_{L-1}, x_L$, 对这 $2L + 1$ 个数据利用一元线性回归处理来获取拟合直线. 假设图像中加有 Gaussian 噪声, 则上述灰度满足 $x = ai + b + \epsilon$, 其中 a 为拟合直线的斜率, b 为拟合直线的截距, ϵ 为符合正态分布 $N(0, \sigma^2)$ 的随机变量, $i \in \{-L, -L + 1, \dots, 0, \dots, L - 1, L\}$. 此时, 由一元线回归有关分析^[1], a, σ^2 的估计值为

$$a = \frac{\sum_{i=-L}^L i(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=-L}^L i^2},$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2L + 1} \left[\sum_{i=-L}^L (x_i - \bar{x})^2 - a^2 \sum_{i=-L}^L i^2 \right],$$

其中 $\bar{x} = \frac{1}{2L + 1} \sum_{i=-L}^L x_i$. 斜率 a 反映了该方向上统计意义上邻域内的灰度突变情况, 斜率 a 的值越大, 邻域内的灰度突变越剧烈. 在过渡区内, 过渡区的跨度越小, 斜率 a 越大; 过渡区的跨度越大, 斜率 a 越小, 即斜率 a 同时可以反映出过渡区的跨度. 考虑到斜率 a 的

值具有这些特点, 加之其具有较好的抗噪能力, 因此, 选其作为过渡区的可能性度量参数是合适的.

而另一个参数 σ^2 则反映了邻域中各采样数据距离拟合直线的分散程度, σ^2 越大, 表明采样数据越分散; σ^2 越小, 则表明采样数据越集中. 显然, σ^2 最小时, 直线的拟合程度最高. 根据这一原则, 找出该方向上拟合程度最高的采样跨度 L . 此外, 由于过渡内像素点具有邻域方向性, 即随着采样数据方向的改变, 拟合直线的斜率 a 的数值将会发生较大的变化; 而在非过渡区内, 随着数据采样方向的改变, 拟合直线的斜率 a 的数值仅会出现小幅度的随机波动. 即在图像过渡区内, 拟合直线的斜率具有明显的各向异性, 而通常情况下在非过渡区内则不具有这种特性.

在实际图像处理中, 在某一方向上进行直线拟合时, 可能会出现图 2 所示的两种情况: (1) 如(a)所示, 在非过渡区内, 采样得到的数据可以拟合为一条斜率较小的直线, 即 a 的值较小. 另外, 采样数据的方向和长度变化对拟合直线的斜率影响较小; (2) 如(b)所示, 在过渡区内, 采样得到的数据长度为 $2L + 1$ 时, 拟合直线由于灰度突变, σ^2 的值较大.

线性拟合程度低;而采样数据的长度减小到 d 时,拟合直线的斜率 α 较大, σ^2 的值却较小,线性拟合程度大大提高。

4 改进的过渡区判定算法

经过一元线性回归处理的数据,随机波动的影响程度大大降低,原有的过渡区判定方法完全可以取得较为满意的效果。对于图 1 中所示的一维情况,利用上述思想对初始的采样数据进行修正,用一元线性回归处理后的数据替代初始数据,在此基础上再利用高端剪切和低端剪切实现过渡区灰度和空间分布范围的判定。图 3(a)、(b)分别为一元线性回归处理后的数据及其梯度分布曲线,(c)为相应的低端剪切和高端剪切有效平均梯度(EAG)曲线。

从图 3 可以看出,经过一元线性回归处理后,能在消除掉数据中绝大多数随机波动影响的同时,较好的保留过渡区中的有效梯度信息,大大提高了整个算法的鲁棒性和可靠性。与通用的平滑滤波处理方法相比,一元线性回归处理充分利用了已有先验信息,处理过程更具针对性,因而具有更高的处理效率。这一点将在实际图像的处理中具有特别重要的意义。

图 4(a)为脑部腔隙性梗塞病灶的核磁共振图像的局部,图像通过胶片经扫描已输入计算机,胶片的洗印过程和扫描过程都引入了相当水平的局部噪声,对这样的图像直接应用边缘检测算子显然不可能得到正确的图像分割结果,同时由于局部区域噪声的存在,直接进行过渡区的计算其可靠性也是值得怀疑的。对于图 4(a)所示的原始图像,未消除随机波动的影响而直接进行过渡区判断时,计算得出的过渡区的上下边界分别为 255 和 203,过渡区的分布范围如图 4(b)所示。由该图可以看出,求出的过渡区明显偏向图像的前景区域,前景区域和过渡区的范围大大缩小,若仍然坚持采样这种方式实现图像分割,则会造成病灶区域虚假的“减小”,更为严重的是,这可能会直接造成病情的误诊,这是决不允许出现的情况。考虑到过渡区内各像素点的邻域方向性,先采用一元线性回归处理来消除局部区域随机波动的影响,然后再进行过渡区的判定,获得的过渡区如图 4(c)所示,由(c)可以看出,求出的过渡区的分布范围与实际情况是基本一致的。经过对近千幅实际病灶图像的处理,取得了比较理想的效果。

5 结论

本文首先分析了已有的图像过渡区算法缺陷和不足,指出图像中局部区域内可能出现的小幅度随机波动将会对整个过渡区的判定结果产生相当大的影响,有时甚至会使得图像的分割过程无法顺利进行。为此,本文依据过渡区内像素点所具有的邻域方向性,首次引入了一元线性回归过程,并用于图像中局部区域中随机波动的消除,这种处理过程可以很好地区分出随机波动和过渡区内梯度变化之间的差别,因而能在消除图像随机波动影响的同时,很好的保存过渡区中的有效梯度信息。消除了图像随机波动的影响以后,即可以借助于原有的过渡区判定方法得到图像过渡区的分布范围。实例对比表明,引入一元线性回归过程后,整个算法的准确性和可靠性大大提高,其适应范围也更广。

REFERENCES

- [1] Castleman K. *Digital Image Processing*. New York: Prentice Hall, 1998, 447—487
- [2] PEI Ji-Hong, YAN Xuan. Image segmentation method based on pyramid FCM clustering and region fuzzy merge. *J. Infrared Millim. Waves* (裴继红, 杨烜, 塔型模糊聚类及区域模糊合并图像分割方法. *红外与毫米波学报*), 1999, 1: 20—23
- [3] ZHANG Yu-Jin. Transition region and image segmentation. *Journal of Electronics* (章毓晋. 过渡区和图像分割. *电子学报*), 1996, 1(24): 12—17
- [4] YE Ying-De. Study on monitor system of rotary machine tool wearing based on computer vision. Ph. D. dissertation of Shanghai Jiaotong University (叶英德. 基于计算机视觉的旋转刀具磨损状态监测系统实验研究. *上海交通大学博士学位论文*), 1999
- [5] LIANG Xue-Jun. Study on virtual datum and virtual measuring instrument based on computer vision. Ph. D. dissertation of Shanghai Jiaotong University (梁学军. 基于计算机视觉的虚拟基准/虚拟量具的研究. *上海交通大学博士学位论文*), 1999
- [6] LE Ning. Study on recognition technology of workpiece serial number and its practice. Ph. D. dissertation of Shanghai Jiaotong University (乐宁. 制造系统中工件号码识别技术的研究及其实践. *上海交通大学博士学位论文*), 2000
- [7] YANG Xuan, LIANG De-Qun. Adaptive adjustment method of filter scale in multi-scale edge detection. *Journal of Xi'an Jiaotong University* (杨烜, 梁德群. 多尺度边缘检测中滤波尺度自适应调整方法. *西安交通大学学报*), 1998, 11(32): 20—23