

几种图象分割算法在棉铃虫图象处理中的应用

于新文 沈佐锐

(中国农业大学植物保护学院)

摘要 本文介绍了6种图象分割算法在棉铃虫图象分割中的应用。结果表明,平均值分割算法和迭代阈值分割算法能够获得较好的分割结果,其中迭代法分割结果较符合实际需要。而P-参数法虽最终能获得较好的分割结果,但需要人为干预阈值的选择过程;Johannsen方法能够正确分割出棉铃虫区域,但无法反映棉铃虫的斑纹特征;而Kapur法和Yager方法则将棉铃虫区域的很多内容分割为背景区域,难以反映出棉铃虫实际特征。本研究为进行昆虫图象的特征提取、特征测量及种类自动识别研究奠定了基础。

关键词 数字图象;昆虫图象;图象分割算法

中图分类号 S126; Q964

Application of Several Segmentation Algorithms to the Digital Image of *Helicoverpa armigera*

Yu Xinwen Shen Zuorui

(College of Plant Protection, CAU)

Abstract Digital image technology had been extensively applied in many research fields. However, its application in entomology is just on the way. Generally, a digital image may consist of several different objects, and the research interest for an insect image focused on the insect region in the image. In order to extract the image features for further recognition research, it is necessary to segment the insect region from the origin image. Six algorithms, which are mean greylevel thresholding, P-tile method, iteration thresholding, Kapur's and Johannsen's thresholding based on optimal entropy and Yager's thresholding based on minimal fuzziness, respectively, were applied to the segmentation of *Helicoverpa armigera* image. Results showed that both mean greylevel thresholding and iteration thresholding method can get a satisfactory segmentation of *H. armigera* image. However, the later one is much more suitable to the practical analysis. The segmentation result image of *H. armigera* from Johannsen's method included too many background pixels, made it very difficult to extract the stripe features of *H. armigera*. The segmentation results using Kapur's and Yager's method are unacceptable, for they can not completely show needed insect image features. This study had provided some important background materials for further

收稿日期: 2001-01-03

国家自然科学基金(39840004)、国家高技术研究发展计划课题(863-306-ZD05-02-03)、高等学校博士点专项科研基金联合资助项目

于新文,云南昆明市白龙寺西南林学院,650224

沈佐锐,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

researches of feature extraction and automated insect image recognition.

Key words digital image; insect image; image segmentation algorithm

研究昆虫图象的处理和分析对昆虫形态学、昆虫生态学以及昆虫测报所需的田间抽样调查具有重要意义。我们把这类研究归入昆虫数学形态学范畴,作为新的交叉学科,还处于起步阶段,因此需要进行很多基础理论和基本方法的探索^[1-3]。

数字图象通常是包含多个物体的结果,对昆虫图象的处理和识别来说,研究的兴趣在于图象中的昆虫部分,即以昆虫部分作为前景,而将寄主植物作为背景。为了识别和分析目标,需要将这些有关区域分离出来,在此基础上才能对图象中的昆虫区域进一步利用,这样昆虫图象的特征提取和测量才有可能,从而进行图象的自动识别。这个过程即所谓图象分割(image segmentation)^[4]。

1 昆虫图象获取及预处理

不同种类的昆虫往往具有不同的生境和不同的形态特征,取自不同生境不同种类的昆虫图象将采用什么样的分割技术是需要不断摸索的。本研究选择棉铃虫成虫作为研究对象,进行图象分割处理的研究。棉铃虫蛹取自中国农业大学昆虫学系养虫室,将羽化的棉铃虫成虫做成针插标本后,用数码相机(Olympus 1400XL型)进行棉铃虫RGB真彩色数字图象的获取,用PaintShop Pro 5.0(Jasc Software Inc)图象处理软件进行重采样,取蓝色通道(B channel)的信息形成8位灰度图象。经过剪裁处理后图象分辨率为象素,对此图象进行中值滤波(模板)和对比度拉伸增强操作,得到经过增强的图象^[5](图1)。本文所有方法均以此图象为操作对象。分割算法在在Borland C++ Builder 4.0环境实现,软件运行环境为BM PC兼容机(64M内存,CPU为K6-2 3D NOW! 300MHz)。

2 图象分割算法介绍

2.1 图象分割方法概述

在图象中不同区域之间的边界上一般具有灰度不连续性,即灰度的阶跃变化形成了区域的边界。所以可以依据各个象素点的灰度不连续性进行分割。最常用的图象分割方法是选择一个阈值。图象中所有低于这一阈值的象素值将被重新赋值为黑色(0),而高于这一阈值的象素值赋值为白色(1)。因此,图象分割的问题转化为阈值的选取问题。不论以何种方法选取阈值,取单阈值分割后的图象可定义为:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases}$$

阈值一般可写成如下形式:

$$T = T[x, y, f(x, y), p(x, y)]$$

式中 $f(x, y)$ 是图象象素点阵中 (x, y) 点的灰度, $p(x, y)$ 是该点邻域的某种局部性质,如连通性。由上式可知, T 在一般情况下可以是 $(x, y), f(x, y), g(x, y)$ 的函数^[6]。

2.2 几种图象分割的阈值选取算法简介

2.2.1 图象灰度平均值分割 最简单的对图象进行分割的阈值选取可以选择图象的灰度平均值, 即:

$$T = \frac{1}{N} \sum f(x, y)$$

式中, T 为分割阈值, N 为图象象素数目 (等于图象高度与宽度象素数的积), $f(x, y)$ 为象素灰度值。

2.2.2 依据黑色象素百分数的分割 可以给定分割后图象中黑色象素的百分数, 以此做为阈值选取的起点。根据黑色象素的百分数可以确定分割后图象中黑色象素的数量 M , 这时可以从直方图中“数”出分割阈值 T 来。即从直方图的 0 级灰度开始统计象素的数量, 直到象素数量大于或等于 M 时, 在直方图上数到的图象灰度级就是分割阈值 T (这里“0”为纯黑)。这种方法有时也称为 P-参数法 (P-tile method), 属于人工指定阈值的方法。

2.2.3 迭代方法选取阈值 迭代方法^[7]在初始条件中假设一个阈值, 而在对图象的迭代运算中不断地更新这一假设阈值, 以得到最佳阈值。初始阈值一般取灰度平均值, 这样, 以平均灰度值分割图象后, 计算分割后的 2 类区域的平均值, 低于初始阈值区域的平均值记为 T_b , 另一区域的均值记为 T_0 , 然后计算 $(T_b + T_0)/2$, 并以此值作为新的阈值, 然后重复上述步骤, 直到 2 次计算的阈值不再变化, 这时即得到了最佳阈值, 迭代停止。以 T_0 作为初始阈值的估计, 则迭代中阈值的第 k 次估计为:

$$T_k = \frac{\sum_{i=0}^{T_{k-1}} i h[i] d}{2 \sum_{i=0}^{T_{k-1}} h[i]} + \frac{\sum_{j=T_{k-1}+1}^N j h[j]}{2 \sum_{j=T_{k-1}+1}^N h[j]}$$

式中 h 是图象灰度直方图。同样, 当 $T_k = T_{k+1}$ 时迭代停止, T_k 就是得到的最佳阈值。

2.2.4 最佳熵自动阈值法 信息论采用熵 (entropy) 作为不确定性的度量, 或者说对随机试验结果的无知性度量^[8,9]。当将 Shannon 熵概念用于图象分割时, 就是研究图象灰度直方图的熵测量值, 并由此自动找出最佳阈值。从不同的角度出发, 会定义不同的熵测量以及选择最佳阈值的方法。这里采用了 2 种方法, 一种是 Kapur 等基于 2 个分布假定提出的方法 (KSW 熵方法)^[10], 一种是 Johannsen 基于极小类间依赖性的方法 (JM 熵方法)。

1) Kapur 方法 (KSW 熵方法) Kapur 定义了目标概率分布 A 和背景概率分布 B 。已知 p_0, p_1, \dots, p_{t-1} 为图象灰度级的概率分布, 由这个分布导出 2 个概率分布, 其中一个用来描述 $\{0, 1, \dots, t\}$ 的灰度分布, 另一个用来描述 $\{t+1, t+2, \dots, t-1\}$ 的灰度分布, 则这 2 个分布为:

$$A: \frac{p_0}{p_t}, \frac{p_1}{p_t}, \dots, \frac{p_t}{p_t} \quad B: \frac{p_{t+1}}{1-p_t}, \frac{p_{t+2}}{1-p_t}, \dots, \frac{p_{t-1}}{1-p_t}$$

这样, 黑象素和白象素的熵就可以基于这 2 个分布采用以下方法计算:

$$H_b = - \sum_{i=0}^t \frac{p_i}{p_t} \ln \left(\frac{p_i}{p_t} \right) = - \frac{1}{p_t} \left[\sum_{i=0}^t p_i \ln p_i - p_t \ln p_t \right] = \ln p_t + \frac{H_t}{p_t}$$

$$H_w = - \sum_{i=t+1}^{t-1} \frac{p_i}{1-p_t} \ln \left(\frac{p_i}{1-p_t} \right) = - \frac{1}{1-p_t} \left[\sum_{i=t+1}^{t-1} p_i \ln p_i - (1-p_t) \ln (1-p_t) \right] = \ln (1-p_t) + \frac{H_{t-1} - H_t}{p_t}$$

而图象的总熵 $H(t) = H_b + H_w = \ln p_t (1-p_t) + \frac{H_t}{p_t} + \frac{H_{t-1} - H_t}{1-p_t}$

使得总熵取最大值的 t 就是将图象分割为目标与背景的最佳阈值。

2)Johannsen 方法(JM 熵方法) Johannsen 假定阈值 t 将灰度级划分为 2 类 $\{0, 1, \dots, t\}$ 和 $\{t+ 1, t+ 2, \dots, l- 1\}$, 利用前面已经定义的 P_t, H_t 和 H_T , 从信息论的观点定义 2 类之间的相依性 $S_{(t)}$ 和 $\bar{S}_{(t)}$:

$$S_{(t)} = \ln P_t + \frac{1}{P_t} (H_{t+} + H_T)$$

$$\bar{S}_{(t)} = \ln (1- p_t) + \frac{1}{1- P_t} [H_{t+} + (1- H_T)]$$

$S_{(t)}$ 和 $\bar{S}_{(t)}$ 之和为此时的熵测量, 使其极小的 t 将是分割目标与背景的最佳阈值。

2.2.5 利用模糊集合确定分割阈值 在集合理论中, 一个元素要么属于一个集合, 要么不属于这个集合。而在模糊集合论中, 元素 x 是否属于一个集合 S 是一个概率问题, 即表述为: x 属于 S 的概率为 μ_x 。对图象进行分割的过程可以归结为图象象素是属于背景集合还是目标集合的问题, 在这里可以采用基于模糊集合论的方法。标准集合 A 和其补集 A^c 之间没有共同的元素。而对于模糊集合每个元素都有一定的概率使其属于 A 和 A^c 。基于此, Yager 采用另一种描述模糊度的方法^[11], 认为 A 和 A^c 之间的模糊程度是模糊集合 A 的一个测度, 可以用下式表达:

$$D_p(t) = \left[\int_g |\mu_x(g) - \mu_{\bar{x}}(g)|^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

其中 p 为任意整数, 对应欧氏距离测量; $\mu_{\bar{x}}(g) = 1 - \mu_x(g)$ 。

对 μ_x 和 $\mu_{\bar{x}}$ 的估计可以下式进行:

$$\mu_x = \frac{\int_{g=0}^t g h(g)}{t}, \quad \mu_{\bar{x}} = \frac{\int_{g=t+1}^{l-1} g h(g)}{l-1}$$

这样只要求得使 $D_p(t)$ 最小时的 t 值就得到了 Yager 方法的最佳阈值。

3 结果与分析

对分割算法的评价并没有统一的标准, 在某种情况下是较为理想的算法也许在其他情况下反而是最不需要的算法, 反之亦然。因此, 昆虫图象分割算法的效果与实际应用是紧密相连的。本研究对昆虫图象分割算法的要求是能够表现出昆虫的主要特征, 为昆虫种类自动识别时的特征提取提供依据。昆虫图象中可利用的最重要的几何特征是昆虫的体型特征, 根据不同的体型大致可以将不同的昆虫类群分辨开来。此外, 还有一个重要的特征就是鳞翅目昆虫鳞翅上的斑纹特征, 这些斑纹特征在昆虫分类学上分别属于斑特征、翅脉特征等, 表现在图象上可以是大小不同的孔洞。因此, 本研究对鳞翅目昆虫图象的分割评价主要考虑能否正确反映昆虫的体型特征和斑纹特征。

分别利用上述 6 种算法对经过增强的棉铃虫图象(图 1-a)进行图象分割处理(图 1-b~ h)。

3.1 平均灰度值阈值分割法 该方法(分割阈值 $T = 201$)将棉铃虫图象中一半左右的象素划分为目标区域(图 1-b), 分割的结果虽然包含了棉铃虫图象所占区域的大部分象素, 但也丢失了许多信息, 如无法全面地反应棉铃虫鳞翅的斑纹信息。另外, 分割结果中棉铃虫的触角变成了几个离散点, 这也与真实情况相去甚远。





a 增强后的图象



b 平均值阈值分割结果(分割阈值)



c P-参数法分割结果
($P = 50\%$, $T = 229$)



d P-参数法分割结果
($P = 30\%$, $T = 186$)



e 迭代法阈值分割结果($T = 175$)



f Kapur 最佳熵分割结果($T = 115$)



g Johannsen 最佳熵分割结果($T = 217$)



h Yager 最小模糊度分割结果($T = 127$)

图 1 棉铃虫图象采用不同分割算法处理的结果

3.2 P-参数法

属于人工指定阈值的分割方法,只能根据对棉铃虫图象的观察大概地估计目标区域所占的比例,因此带有很大的主观性和随意性,也很难一两次就获得满意的分割结果。我们先选择了目标区域占50%的比例对棉铃虫图象进行分割($T = 229$,图1-c)。从该结果可以看出,目标区域明显大于实际棉铃虫所占的区域。由棉铃虫增强图象的灰度直方图(图2)可以看出,灰度为229时,象素属于背景区域,也就是说,将背景区域的一部分分割到了目标区域中。经过多次的试验,认为黑色象素所占比例定为30%时获得的分割结果较为满意($T = 186$),但对鳞翅上的斑纹特征反映不足(图1-d)。

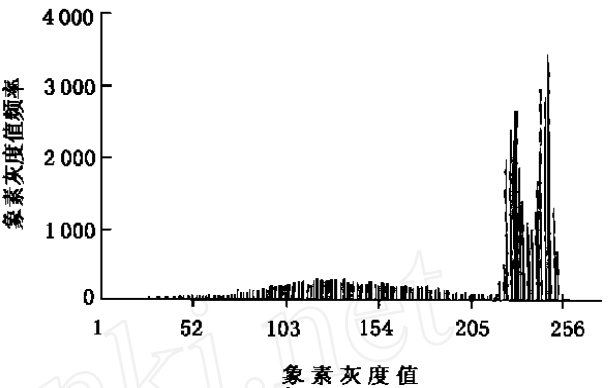


图2 棉铃虫增强图象(图1-a)的灰度直方图

3.3 迭代分割法

该方法对棉铃虫图象的分割获得了较好的整体结果(图1-e, $T = 175$),鳞翅斑纹也得到了较好的反映,但不足的是右前翅基部与虫体仅有很小部分相连,虫体部分孔洞太多,而这些孔洞可以采用形态学方法弥补,因此,迭代分割法可以用来对昆虫图像进行分割处理。

3.4 最佳熵自动阈值分割法

Kapur方法将棉铃虫区域的大量象素划分为背景象素,这是由于这种方法确定的阈值太低造成的($T = 115$),使棉铃虫区域已经不是一个完整的区域,而是不连通的若干个分散的小区域(图1-f),难以进行特征提取的操作。Johannsen方法由于确定的分割阈值较高($T = 217$),虽然得到了棉铃虫图象的目标区域,但丢失了鳞翅上的斑纹信息(图1-g),同样不可取。因此,2种最佳熵自动阈值分割方法对棉铃虫图象的分割结果均难以令人满意。

3.5 最小模糊度分割算法

该方法对棉铃虫图象分割结果中(图1-h)目标区域也是不连通的若干离散小区域,并没有将棉铃虫图象的全貌反映出来。结合棉铃虫图象灰度直方图,从这种算法所确定的阈值($T = 127$)也可看出,当灰度级为127时,棉铃虫图象中棉铃虫区域的大部分将被分割到背景区域。因此,Yager分割算法也不能令人满意。

4 讨论

上述分割算法对棉铃虫图象分割的结果可以分为3类:1)将背景区域的一些象素划分到了目标区域,如P-参数法取黑色象素比例为50%时;2)将目标区域的大量象素划分到了背景区域,如Kapur最佳熵分割算法及Yager最小模糊度分割算法,上述这些方法对棉铃虫图象的分割结果无法真实反应棉铃虫图象的本质;3)能够将棉铃虫图象正确分割,如平均值阈值分割和迭代法阈值分割算法,其中迭代法分割既可以正确分割棉铃虫图象,又可以在一定程度上反映出棉铃虫鳞翅上的斑纹特征,只是翅与虫体的连接部位不甚理想。

但是,尽管人们在图象分割方面做了许多研究工作,目前仍无通用的分割理论^[12],现已提

出的分割算法大都是针对具体问题的,并没有一种适合于所有图象的通用的分割算法,为一个实际图象的分割选择适用的分割算法也还没有标准的方法,昆虫图象的分割也是如此,昆虫图象处理研究仍然处于初级阶段。因此,对不同种类和不同取样条件下获得的昆虫图象的分割仍然需要进行进一步的研究。

参 考 文 献

- 1 沈佐锐,于新文 昆虫数学形态学研究及其应用展望 昆虫学报, 1998, 41(增刊): 140~ 148
- 2 于新文 昆虫图象数字技术研究开发: [学位论文] 北京: 中国农业大学, 1999
- 3 于新文,沈佐锐 田间麦蚜图象边缘检测研究 昆虫学报, 1998, 41(增刊): 205~ 208
- 4 Haralick R M, Shapiro L G Survey: Image segmentation. Comput Vis, Graphics In Proc, 1985, 29: 100 ~ 132
- 5 于新文,沈佐锐 棉铃虫数字图象增强技术的研究 见: 李典谟主编 走向 21 世纪的中国昆虫学 中国昆虫学会 2000 年学术年会论文集 北京: 中国科学技术出版社, 2000, 468~ 474
- 6 王润生, 图象理解 长沙: 国防科技大学出版社, 1995
- 7 Ridler T W, Calvard S Picture thresholding using an iterative selection method IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1978, SMC-8 (8): 630~ 632
- 8 Shannon C E A mathematical theory of communication Bell System Tech Journal, 1948, 27: 379~ 423
- 9 Sloane N J N, Wyner A D. Claude E Inwood Shannon, Collected Papers New York: IEEE Press, 1993
- 10 Kapur J, Sahoo P, Wang A. A new method for gray level picture thresholding using entropy of the histogram. Comput Vis, Graphics and In Proc 1985, 29: 273~ 285
- 11 Yager R R. On the measures of fuzziness and negation Part I: Membership in the unit interval Int Journal of Gen. Sys, 1979, (5): 221~ 229
- 12 Haralick R M, Shapiro L G Computer and Robot Vision. MA: Addison-Wesley, 1992