

温室白粉虱自动计数技术研究初报

沈佐锐, 于新文

(中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100094)

摘要:应用计算机视觉技术对温室白粉虱自动计数技术进行了研究。采用胶卷照相机和家用摄像机对田间温室白粉虱寄生的叶片进行拍摄, 以获得其数字图象。对白粉虱图象的分割采用 Johannsen 基于熵的分割算法。对分割后的二值图象利用区域标记算法得到白粉虱个体的数量。对叶片上挨在一起的白粉虱个体采用数学形态学算法进行了分离。用 19 个带虫叶片样本的统计结果表明, 直接利用分割图象进行白粉虱个体计数的累积准确率达 91.99%, 而分离处理的算法则需要改进。因此, 这一技术具有进一步在生态研究和 IPM 实践中推广的可能性, 这将使田间微小昆虫的种群数量监测和调查的工作量大幅度降低, 而准确率得到显著提高。

关键词:自动计数; 图象处理; 计算机视觉; 温室白粉虱

Preliminary research on automated counting technology for *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)

SHEN Zuo-Rui, YU Xin-Wen (Department of Entomology, The China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: The automated counting technology was developed for the tiny insects using computer vision technology and aiming to overcome counting difficulty when sampling the insects in the field. The objective insect selected was *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). The digital image of the leaf on which *T. vaporariorum* fed was acquired using a VHS CCD camera and a frame grabber. The image was segmented employing Johannsen's entropy segmentation algorithm. A region-labeling algorithm was applied to the segmented binary image to count the insect number. Sometimes a few insects were connected to each other, so a disconnect algorithm was developed based on the morphological operations. An accumulative accuracy of 91.99% was achieved when the automated counting method was tested on 19 leaf images, and it demonstrated a promising potentiality of this method for ecological and IPM applications. It can save labor and time and enhance the quality of pest monitoring.

Key words: automated counting; image processing; computer vision; *trialeurodes vaporariorum* (Westwood)

文章编号: 1000-0933(2001)01-0094-06 中图分类号: Q968.1, JN911.73 文献标识码: A

随着可持续农业对经济效益与生态效益的不断追求, 近十年来, 无论是作物-害虫系统的控制与预测的数学模型, 还是有害生物综合管理措施均有了迅速的发展。但相形之下可靠的决策技术的发展显得滞后, 而进行决策的主要依据是正确地估计出田间害虫种群的密度以及害虫的危害程度。如果没有正确的抽样技术, 对害虫的数量动态、害虫的危害程度就不可能进行准确的预测, 更不能保证害虫防治经济阈值的有效执行^[1]。当虫体很小时(如蚜虫、粉虱、螨类等), 田间抽样调查不仅劳动量很大, 效率极低, 而且计数的困难往往造成很大误差。调查人员的经验、视力、情绪、疲劳以及环境因素, 都会影响调查数据的准确性和可靠性。Emden 甚至断言, 每一株上蚜虫的确切数量, 只有当植株幼小的时候或每株只有少量蚜虫时, 才能

基金项目: 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课题的部分内容。

收稿日期: 2000-04-21; 修订日期: 2000-06-15

作者简介: 沈佐锐(1944~), 男, 北京人, 博士, 教授。主要从事生态学、农业信息技术及应用、生态系统健康等研究。

数清;没有任何一种方法能适用于全部蚜虫和他们的植物寄主^[2]。今天,由于生物数学和计算机技术的发展,昆虫种群动态模型(包括害虫测报模型)的构建及其计算的困难已在很大程度上得到解决。可以说,田间害虫抽样调查成了限制田间昆虫生态学研究 and 现代害虫测报与综合治理技术进一步发展的瓶颈。

生物医学中的细胞自动计数法^[3]、微核的自动检测技术^[4]。以及染色体的自动检测^[5]等技术为田间微小昆虫计数提供了一个全新的思路,即可以采用计算机视觉技术进行田间昆虫的自动计数。本文即报道这方面的初步研究成果。

1 材料与方法

1.1 目标昆虫的选择

以温室白粉虱(*Trialeurodes vaporariorum*(Westwood))成虫作为本研究的目标昆虫。白粉虱成虫多栖息在寄主上部嫩叶背面,田间调查时必须将叶片反转过来,而白粉虱成虫活动性很强,当叶片反转后,白粉虱成虫陆续飞走。因此,往往白粉虱个体的统计才刚刚开始,大部分个体已飞走了,统计结果可想而知。而采用计算机视觉技术进行白粉虱计数则可以在很大程度上减少因白粉虱飞走所造成的误差,因为如果采用照相的方式,可以在叶片刚刚反转后即获得叶片上白粉虱图象,使得个体飞走造成的误差降到最低限度。如果采用摄像的方式获取图象,则整个过程都可以记录下来,因此也可以减少个体飞走的误差,另外,白粉虱与叶片之间颜色反差较大,易于实现图象的分割算法。

图象处理算法在 Borland C++ Builder 3.0 环境实现,软件运行环境为 IBM PC 兼容机(AMD K2-6 3D Now! 300 MH, 64 M 内存,内插有 Maxtrox 图象公司 Meteor RGB 图象采集卡)。

1.2 图象获取

采用了两种田间白粉虱图象的获取方法,即①采用传统的照相机(尼康 EM 型 50 mm, 1:1.8 镜头)加 3 片近摄镜头(分别为国产 Feihong 52 mm, CU+2 镜片, Feihong 52 mm, CU+3 和 Feihong 52 mm, CU+4 镜片)对白粉虱取食的叶片进行照相。②采用 CCD 摄像机(Sony CCD-TR2000E 型,具有 52 mm $f=6.1\sim 61$ mm 1:1.6 的摄像头, Sony 公司制造)对白粉虱取食的叶片进行摄像。照相和摄像多选择在上午 10:00 以前和下午 17:00 以后,因为这时光线比较柔和,直射光较弱,可以减少因阴影造成的误差。

1.3 图象预处理

采用照相获得的照片经扫描仪扫描后得到真彩色图象(460×230 象素),真彩色图象是由 R(Red, 红色信号)G(Green, 绿色信号)B(Blue, 蓝色信号)3 个通道复合而成的,每个通道的信号相当于 1 个 8 位的灰度图象。因此,可以将真彩色图象按 RGB 三通道分离为 3 个灰度图象,比较 3 个灰度图象后认为 B 通道的图象对比度最大,因此选 B 通道的图象作为目标图象(图 1)。

利用摄像机获得的数字图象也是真彩色,与照相获得的图象一样,这里也取 B 通道作为待处理的目标图象,由于摄像机为家用型,扫描线数太低,得到的图象边界有锯齿状干扰信号,因此不利于后续分析。为消除这一干扰,对图象进行剪裁处理,即将含有锯齿状的边界剪切掉,这里利用 Paint Shop Pro 5.0(Jasc Software Inc.)软件的剪裁功能(Crop)进行剪切。在剪切时注意了只剪切锯齿边界,而不影响图象的其他部分。另外,摄像机获得的图象整体效果较模糊,白粉虱边界不清晰,为了能够突出显示白粉虱的边界,对剪裁后的图象做了锐化(Sharpen)处理,经预处理后的图象如图 2 所示,这样就去除了图象中不利于后续处理的因素。

1.4 白粉虱图象的分割及计数

对白粉虱图象而言,由于图象中白粉虱个体很小,而且只是用于个体的计数,因此并不需要对每个个体细微特征的了解,只需要将白粉虱个体从图象中分割出来,即要确定一个分割灰度阈值,当图象象素灰度值大于这一阈值时重新赋值为 1,作为目标(即白粉虱个体),小于这一阈值时象素重新赋值为 0,作为背景,以形成白粉虱个体与背景的二值图象,这样就可用于计数。因此,解决白粉虱图象自动计数的关键在于选择合适的分割算法,以及对分割后的白粉虱个体的计数算法上。

1.4.1 白粉虱图象的分割 由图 1 和图 2 可以看出,白粉虱在图象中所占的比例很小,分割比较困难。根据多种分割算法的比较,可以认为,对这种图象的分割应该选择 Johannsen 基于熵的分割算法^[6,7]。

1.4.2 分割图象的处理 图象中白粉虱个体有时有重叠在一起或两个体紧挨在一起的情况,在分割后的图象中表现为两个白粉虱个体搭接成为一个区域,如果直接计数,必然导致计数结果出现偏差,因此要对这种情况加以处理,使挨在一起的个体分离开来。这种处理最简单的方法是采用数学形态学运算^[7~9]。

对于二值图象 X , 令 $E=R^2$ 为二维欧氏空间, B 代表结构元素(集合), B^s 为结构元素关于原点的对称集合: $B^s = \{-b; b \in B\}$, 则膨胀运算表示为:

$$X \oplus B^s = \bigcup_{b \in B} X_{-b} = \{z \in E; B_z \cap X \neq \emptyset\}$$

腐蚀运算表示为:

$$X \ominus B^s = \bigcap_{b \in B} X_{-b} = \{z \in E; B_z \subset X\}$$

一般,分离图象中物体的搭接可以对图象做开运算(Opening),先腐蚀后膨胀形成开运算 X_B :

$$X_B = (X \ominus B^s) \oplus B = \bigcup \{B_z; B_z \subset X\}$$

对白粉虱图象中的搭接作开运算时,可以选择 (3×3) 二值方形结构元素^[7](又称为简单结构元素, Simple structuring element),该结构元素的原点在其中心位置。

1.4.3 白粉虱图象的计数 对图象中白粉虱个体的计数可以采连通区域标记^[8]的方法实现。经过阈值分割后的二值图象中白粉虱为白色,像素值为 1,而背景所在的区域像素值为 0,可以对每个值为 1 的连通区域加一个唯一的标号,然后就可以统计出白粉虱个体数量。标记的算法有两大类,一类是局部邻域算法,另一类可称为分而制之算法。本文采用局部邻域标记算法中的跟踪算法,将二值图象中每个取值为 1 的像素都标记为与其坐标相关的标号,然后扫描标记后的图象,并将每个像素的标号改为其 8 连通(图 3)区域内的最小标号,反复执行这个过程,直到不需要作标号更改为止。用这种算法处理小而凸的目标时收敛速度很快,而处理细长目标时收敛速度较慢。

2 结果与分析

2.1 图象分割的结果

分割后的二值图象如图 4 和图 5。图 4 表明,照相机获取的白粉虱图象分割效果较好,也没有出现个体之间的重叠现象,有利于计数的进行。尽管对摄像机获得的图象进行了锐化处理,有些白粉虱与叶片间的模糊边缘还是没能得到改善,因此,分割后的图象丢失了一些信息。另外,图象中有挨在一起的个体。

2.2 对挨在一起的个体进行分离的结果

对白粉虱二值图象做开运算的结果见图 6。



图 1 采用照相机对白粉虱取食叶片拍摄获得的数字图象(B 通道)(460×230 像素)

Fig. 1 The digital image(B channel, 460×230 pixel) of the leaf, on which *T. vaporariorum* fed, acquired using film camera

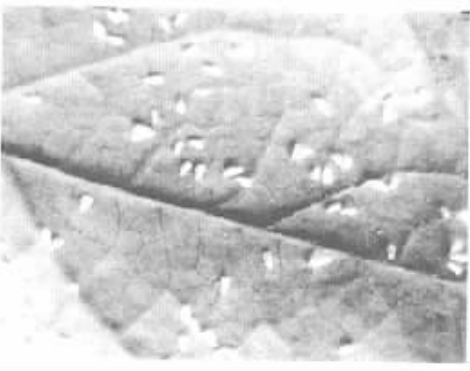


图 2 摄像机获取的经剪裁、锐化后的白粉虱图象(B 通道)

(原图象分辨率为 768×576, 为便于排版, 这里按比例进行了缩小, 下同)

Fig. 2 The digital image of the leaf(B channel), on which *T. vaporariorum* fed, after enhancement processing of crop and sharpening.

(origin resolution of this image, which was acquired using a video camera and frame grabber is 768×576 pixel, here was zoomed out to fit the format. The later images were similarly treated)

从图 6 中看出,原二值图象中的孤立点或毛刺被去掉了,但开运算的目的并没有完全达到。原二值图象中出现有四处白粉虱挨在一起的现象,分别在图象的上中部、中部、下中部和底部右端,开运算后,只有下中部的两个个体被分离,其余个体仍然挨在一起,主要原因是白粉虱个体形状变化较大,重叠的部分太多,当然可以采用较大的结构元素来分离,但是这样作的结果必然会将较小的白粉虱区域腐蚀掉,将会带来更大的误差,这说明采用开运算的结果无法满足我们的要求。

开运算是先对图象进行腐蚀,然后再作膨胀运算。膨胀的目的是使目标不致于变得太小,形状不致于变化太大。而实际上,对白粉虱计数时并不关心白粉虱个体的大小和形状,关心的只是数量的多少。因此可以只对图 5 作腐蚀运算,虽然这样作的结果是使一些个体变得更小,但只要分割后白粉虱个体不是太小,不会被腐蚀掉,就不会影响计数的结果。对白粉虱二值图象进行腐蚀时选择的结构元素仍为简单的结构元素,腐蚀结果见图 7。

腐蚀后的图象中,4 处原来挨在一起的白粉虱个体有三处被分离开来,图象中下部的两个体由于重叠太多而仍无法分离。

2.3 对白粉虱个体计数的结果

对照相机获取的图象中白粉虱个体进行计数结果为 40,而对原图象的目测计数为 39,结果不一致的原因在于叶片中叶脉对光的反射较强,形成了一些亮斑,分割的结果使得这些亮斑也被表现在分割图象中,成为白粉虱的假象。而叶脉的隆起又使其邻近

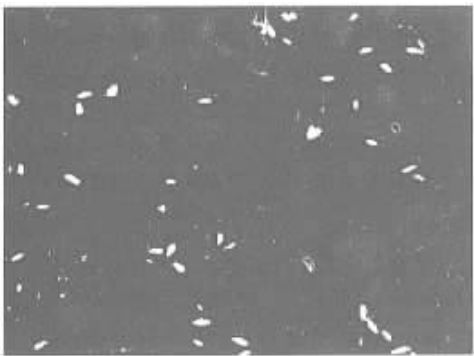


图 5 采用 Johanssen 最优熵分割算法对白粉虱图象的分割结果(图象获取设备:摄像机)

Fig.5 Segementation result of fig. 2 employing Johanssen's method (Origin image was acquired using video camera)

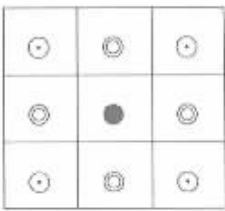


图 3 图象像素的连通性,●的四连通邻域包括标为⊙的像素,其八连通邻域则包括所有的⊕像素

Fig.3 Connection of the digital image pixel, where 4 connection neighbors of pixel ● include ⊙ pixels, while the 8 connection neighbors of pixel ● include all ⊕ pixels



图 4 采用 Johanssen 最优熵分割算法对白粉虱图象(图 1)的分割结果(图象获取设备:胶卷照相机)

Fig.4 Segementation result of fig.1 employing Johanssen's method (Origin image was acquired using film camera)

叶面上产生了阴影,处在阴影处的白粉虱个体在分割后的图象中被隐蔽掉了,使得结果出现偏差。

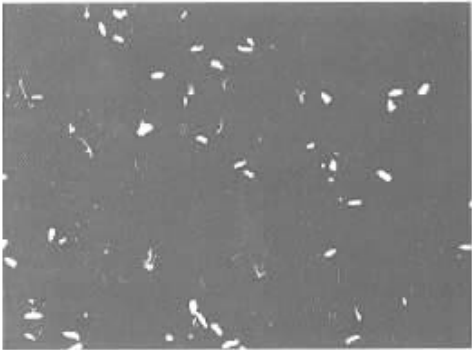


图 6 对分割图象(图 5)做开运算的结果图象

Fig.6 The processing result of fig. 5 using opening operation

对摄像机获取的白粉虱图象分割结果直接进行计数的结果为 55,对腐蚀后的图象进行计数的结果为 49,对原图象的目测结果为 62,相差较大。由于获取的图象质量不是很好,使得有些白粉虱个体在分割后的图象中表现为一些较小的区域,只占几个像素,但这此像素可以代表白粉虱个体的存在。而由于采用了腐蚀运算,使得本来可以代表白粉虱个体的小区域被腐蚀掉了,虽然腐蚀的结果可以使搭接在一起的白粉虱个体分离开来,但损失了更多的小区域,使得计数结果偏差增大。表 1 为对摄像机获得的白粉虱图象目测和自动计数的结果。

由表 1 也可看出,自动计数的结果与目测结果有一定的偏差。在自动计数结果中有的结果(9,14,18)甚至比目测结果还要高。这主要是因为图象分割时背景区域中的亮点也划分成为目标区域。腐蚀后的计数结果与目测结果相差更大,原因如上述解释。

3 讨论

由于白粉虱寄主叶片表面不规则,不同部位对光线的反射强度不同,因而造成处于叶片阴影部位的白粉虱很难全部被分割出来,而叶片有些部位对光线的反射较强,如叶脉,使得叶脉在分割后的图象中也有所体现,这两方面的原因造成了自动计数结果与目测结果偏差较大。因此,如何消除图象获取时光线的不良影响,是今后研究的一个重要内容,并已为此制定了若干方案。

表 1 对图象中白粉虱个体的目测和自动计数结果
Table 1 Automated and naked-eye counting result of *T. Vaporariorum* in the image

图象编号	目测结果	分割后计数结果	腐蚀后计数结果
1	62	55	49
2	62	61	50
3	65	51	42
4	90	71	41
5	63	57	49
6	68	52	52
7	74	74	50
8	56	55	45
9	74	80	58
10	92	80	80
11	65	70	56
12	60	49	39
13	62	54	39
14	75	79	56
15	69	63	49
16	65	53	37
17	83	69	54
18	73	80	65
19	66	65	48
总数	1324	1218	959
准确率		91.99%	72.43%

万方数据

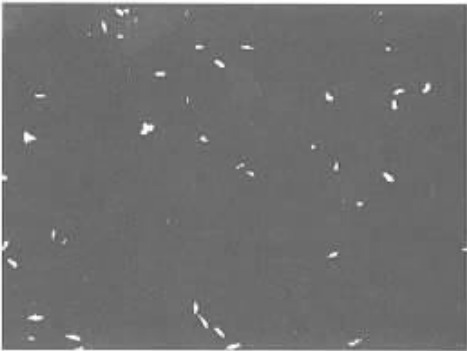


图 7 对白粉虱分割后图象(图 5)的腐蚀结果
Fig. 7 The processing results of fig 5 using erosion operation

白粉虱活动性较强,有时会出现多个个体拥挤在一起,造成图象分割的困难。如果个体间重叠,可以采用数学形态学腐蚀运算的方法将挨在一起的白粉虱分离。但由于白粉虱个体发育程度不同,所以个体大小有差异,表现在图象上则是不同个体所占的区域面积不同,分割后表现更明显。腐蚀运算可以将分割后所占面积较小的白粉虱区域消除,而分割后的图象中这种小区域占有相当大的比例,所以,尽管腐蚀可以分离挨在一起的白粉虱,但由于消除了更多的小区域,使得进行腐蚀运算后的计数结果与目测结果相比偏差更大。这意味着不宜采取全局腐蚀,即对白粉虱图象的腐蚀要采用局部处理的方式,或者对个体大小取特定的阈值,当目标区域面积超过此阈值时,可以认为是此目标为两个或两个以上个体,对此目标进行腐蚀,以分离不同的个体。这一思路的实现正在进行中。

另外,图象获取设备的档次对图象质量影响很大,间接影响到计数结果。例如,本研究所用的家用摄像机获取的图象质量较差,图象中锯齿效应很明显,白粉虱图象与叶片之间的边缘不很清晰,这些都会导致图象分析过程中的误差。因此选用更好的图象获取设备非常必要。

应用计算机视觉技术进行微小昆虫的自动计数是田间昆虫监测的新思路。虽然本报道的初步研究结果距离实际,尚有数步之遥,但这几步并不是很难走下去的。重要的是基础已经打下了,方向已经探明了。本文介绍的各种算法已被集成到作者开发的 BugVisux 系列中。当为昆虫生态学和植保工作者演示该系统的应用时,他们表现出来的极大兴趣预示着这一技术具有很好的应用潜力。

参考文献

- [1] 丁岩钦. 昆虫数学生态学. 北京:科学出版社,1994. 58~59.
- [2] 范埃姆登主编. 路进生,等译. 蚜虫研究技术. 北京:科学出版社出版,1982. 125~134.
- [3] Funakubo N. Region segmentation of biomedical tissue image using color texture feature. 7th Intl. Conf. On Pattern Recognition, 1984. 30~32.
- [4] 易东,曹佳,王莲. 微核计算机图象自动化检测研究现状及展望. 国外生物医学工程分册,1997,20(1):46~50.
- [5] Chen C H, Wang Y, Mitra S K, *et al.* Automated detection of chromosome aberration using color information. *SPIE*, 1989, 1192: 339~343.
- [6] 王润生. 图象理解. 北京:国防科技大学出版社,1995. 95~98.
- [7] Parker J R. *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. New York: Wiley Computer Publishing, John Wiley & Sons Inc, 1996, 120~124.
- [8] 崔屹. 数字图象处理技术与应用. 北京:电子工业出版社,1997. 144~148.
- [9] Shatadal P, Jayas D S, Bulley N R. Digital image analysis for software separation and classification of touching grains 1. Disconnect Algorithm. *Transaction of ASAE*, 1995, 38(2): 635~643.