

描述蝴蝶兰图像外轮廓信息的对称8链码编码算法

徐焕良 王一珩 熊迎军 任守纲 王浩云
(南京农业大学信息科技学院 南京 210095)

摘要 外轮廓信息是评价蝴蝶兰生长态势的重要特征参数,主要通过轮廓提取和链码编码两个步骤获得。蝴蝶兰图像的边缘轮廓最适合利用数学形态学算法提取,但所得轮廓并非单像素宽度,而利用传统8链码算法编码会错误地表达其外轮廓信息,因此结合轮廓特点重新定义了起始链码方向,提出了对称8链码编码算法。在编码过程中,该算法能够通过变换点判断出当前轮廓走向,从而自适应地选择起始链码方向。验证性实验证明,该算法能够准确描述蝴蝶兰图像的外轮廓信息,保证外轮廓信息较低的误判率;通用性实验证明,该算法同样适用于其他已较好提取出目标的封闭图像。

关键词 Freeman 8链码,外轮廓,数学形态学,对称8链码,蝴蝶兰

中图法分类号 S126, TP391.41 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.9.058

Symmetrical 8 Chain Code Encoding Algorithm to Describe Outer Contour Information of Phalaenopsis Amabilis Images

XU Huan-liang WANG Yi-jun XIONG Ying-jun REN Shou-gang WANG Hao-yun
(College of Information Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract One important feature parameter to judge the growing situation of phalaenopsis amabilis is outer contour information, which is obtained by contour extracting and chain code encoding. Mathematical morphological algorithm is more suitable to extract phalaenopsis amabilis edge contour, however, its edge contour is no-single pixel width, and traditional 8 chain code algorithm will wrongly express the outer contour information. Combining contour direction feature, we defined starting chain code direction and proposed symmetrical 8 chain code algorithm. During the encoding process, this algorithm can judge current contour direction through change points, and then select the starting chain code direction adaptively. Verification experiments show that this algorithm can well describe the outer contour information with low misjudgement rate, and general experiments prove that this algorithm is also suitable for other enclosed images which have extracted target well.

Keywords Freeman 8 chain code, Outer contour, Mathematical morphology, Symmetrical 8 chain code, Phalaenopsis amabilis

1 引言

蝴蝶兰为附生性兰花,具有较高的观赏价值和经济价值,但其对生长环境的要求比较高。目前,蝴蝶兰的特征参数均是手动采集的,生长态势的优劣是人眼评判的,这不仅增加了大量的重复劳动,而且人眼对其生长情况的掌控也存在偏差^[1,2]。为了提高研究效率,降低工作强度,且保证其生长品质,应建立一套栽培花卉设施系统以实现智能调控花期。该系统运用计算机图像处理技术自动采集并分离单片花朵图像,提取蝴蝶兰特征参数,判断其生长态势,从而自动调节环境温度湿度参数和水肥使用量,为花卉种植带来更大效益。整

个处理过程主要涉及到图像分割和特征提取两大方面。好的图像分割算法能够较准确地提取出单片花朵,任守纲等人^[3,4]根据蝴蝶兰花卉图像的特点提出了结合分水岭^[5]和梯度的图像分割方法,并运用改进的主动轮廓模型提取单片花朵。但单片花朵图像不能直接表达其生长情况,需要在此基础上利用特征提取算法提取出有价值的特征参数。

外轮廓信息参数是重要的蝴蝶兰特征参数。边缘检测能够提取图像的边缘轮廓信息^[6]。常用的边缘检测算法有 Sobel 算子^[7]、Roberts 算子^[8]、Prewitt 算子^[9]、Canny 算子^[10]和数学形态学算法^[11]等。在提取蝴蝶兰图像边缘轮廓时,前4种算子可能会导致边缘不连续,而数学形态学算法能够消除不连续现象,所以本文采用数学形态学算法进行边缘检测。

到稿日期:2014-09-16 返修日期:2014-12-21 本文受中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(KYZ201421),江苏省农业三新工程项目(SXGC[2014]309, SXGC[2013]372)资助。

徐焕良(1963—),男,博士,教授,主要研究方向为物联网关键技术;王一珩(1990—),女,硕士生,主要研究方向为计算机图形图像处理;熊迎军(1982—),男,博士,讲师,主要研究方向为嵌入式系统及图像处理;任守纲(1977—),男,博士,副教授,主要研究方向为农业信息化、图像处理;王浩云(1981—),男,博士,讲师,CCF会员,主要研究方向为物联网、CPS相关协议和机制优化设计、图像处理等, E-mail: wanghy@njau.edu.cn (通信作者)。

利用边缘轮廓图像能够提取外轮廓信息。边缘追踪算法^[12]和链码技术^[13]是两种传统的提取方法,边缘追踪算法能够简单快速地获得单像素的图像轮廓,但该算法并没有给出像素点之间的相互关联,所得轮廓仍是以二维形式存储的,不适用于图像识别和图像匹配;链码技术能够将二维图像信息转换为一维链码序列,使外轮廓像素点之间联系起来,较适用于后续的认可匹配工作。Bribiesca^[14]提出了利用小直线段的斜率对区域形状进行编码的思想;随后,他又提出了顶点链码^[15],用每个码的码值表示该顶点包括的边界像素顶点个数;刘勇奎等人提出了基于 Huffman 编码的角度差链码^[16],并且比较了各链码的优劣^[17];Rehman 等^[18]提出了基于阿拉伯字母的尺度不变性链码;Jana 等^[19]利用物体形状链码进行图像匹配研究;Dianat 等人^[20]提出了一种基于顶点链码的长度估计算法;赵宇等^[21]提出了夹角链码思想,其利用相邻线段之间的夹角差来描述边界;刘淑娟^[22]又在赵宇的基础上考虑了拐点之间曲线段的长度,提出了一种可变夹角链码;Wang 等人^[23]利用改进的链码直方图和形状数代替链码序列表达轴心轨迹的轮廓信息,提高了轴心轨迹的识别率。Zhou 等人^[24]提出了统计模糊向量链码来提取轴心轨迹的特征,提高了轴心轨迹的识别精确度和识别速度。

上述改进的链码算法都建立在图像外轮廓连续且是单像素宽度的前提下。当边缘轮廓宽度并非单像素时,上述链码技术均不能很好地描述外轮廓信息。与传统的边缘检测算法相比,数学形态学算法最适合提取蝴蝶兰图像的边缘轮廓,数学形态学算法所得的边缘轮廓是非单像素宽度的,在像素的 8 邻域内存在多个边缘轮廓像素点时,传统 8 链码会选择链码方向值最小的那个像素点作为外轮廓,但这种方式选择的像素点并不一定属于外轮廓。针对该问题,本文提出了对称 8 链码编码算法,该算法根据图像轮廓走向特征重新定义了链码方式和变换点的判定条件,通过变换点的判断选择最适合当前轮廓的链码方式,从而较为精确地表达外轮廓信息,保证了较高的外轮廓判断准确率。

2 蝴蝶兰图像的边缘提取

数学形态学算法用具有一定结构形态的结构元素去度量目标图像,根据相互作用提取对应形状,以达到边缘检测的目的。形态学最基本的运算是腐蚀和膨胀。假定 $I(i, j)$ 代表一幅图像, D 表示图像 I 的定义域, B 表示结构元素,膨胀和腐蚀的定义如下所示。

膨胀:

$$\delta(I)(i, j) = \text{Max}\{I(i-x, j-y) + B(x, y) \mid (i-x, j-y) \in D; (x, y) \in B\} \quad (1)$$

腐蚀:

$$\epsilon(I)(i, j) = \text{Min}\{I(i+x, j+y) - B(x, y) \mid (i+x, j+y) \in D; (x, y) \in B\} \quad (2)$$

对膨胀与腐蚀结果进行差运算,可得到图像的边缘轮廓。其公式如下:

$$\nabla(I)(i, j) = \delta(I)(i, j) - \epsilon(I)(i, j) \quad (3)$$

利用数学形态学算法和上文中提及的边缘检测算法提取出随机选取的蝴蝶兰图像轮廓,结果如图 1 所示。可以看出,数学形态学算法能够得到连续的边缘轮廓信息,但其轮廓宽度并非单像素;Canny 算子在边缘提取时,边缘信息保留较完好,但同时也检测出过多的花瓣纹理细节,不利于轮廓的获

取;Roberts 算子、Sobel 算子和 Prewitt 算子都能够得到单像素宽度的边缘轮廓,但边缘多处存在“断裂”的现象,并不能直接进行链码编码。现有的断点连接的方法^[25-27]能够修补这几种算子产生的“断裂”边界,但这将导致边缘轮廓发生一定的变形,甚至出现错误连接的情况。所以,本文选择数学形态学方法进行蝴蝶兰图像的边缘提取。

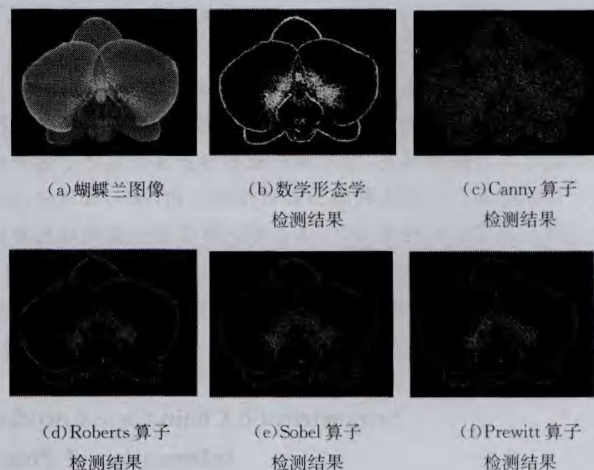


图 1 各算法的边缘检测结果

3 对称 8 链码编码算法

用数学形态学算法得到边缘轮廓图像后,就可以利用链码技术描述其外轮廓信息。

3.1 传统 8 链码的定义

传统的 8 方向 Freeman 链码(下简称传统 8 链码)是一种经典的编码表示形式,它将当前像素点的 8 邻域定义为 8 个链码方向,如图 2 所示,其中 0 为起始链码方向。规定从起始链码方向开始,按逆时针顺序进行像素点选择,将首个满足条件且未标记的像素点所对应的方向值保存在一维链码序列中。根据此链码规则,可以将图像的二维轮廓信息转换为一维方向信息。

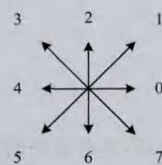


图 2 传统的 8 方向 Freeman 链码

对于单像素宽度的边缘轮廓图像,传统 8 链码能够正确表达外轮廓信息。如图 3 所示,假定浅灰色块代表图像边缘点,黑色圆点代表任意选取的起始点。从该起始点出发,利用传统 8 链码的定义,其轮廓信息能够由一条封闭链描述,其链码序列为 $\{0, 0, 0, 2, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 6, 5, 7, 6\}$ 。利用此起始点和链码序列,就能唯一地表示出图像外轮廓,甚至还还原出图像外轮廓。

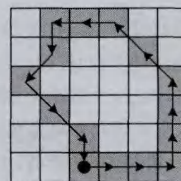


图 3 单像素宽度的轮廓编码

3.2 传统 8 链码编码算法的讨论

对于非单像素宽度的边缘,基于传统 8 链码的外轮廓信息表示方法并不理想。其问题主要包括两方面:

(1)链码编码会出现无法回到起始像素点的情况。

(2)链码序列中存在大量非外轮廓信息。例如,图 1(b)进行链码编码后,利用起始点和链码序列还原出的外轮廓图像如图 4 所示。该图像中存在大量非外轮廓像素点,所以基于传统 8 链码的链码序列并不能代表图像外轮廓信息。

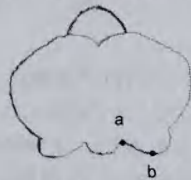


图 4 外轮廓还原图像

对于问题(1),本文对在边缘轮廓宽度范围内与起始像素点同列的轮廓像素点进行标记,当链码回到其中任意一个标记像素点时,链码结束。

问题(2)是由传统 8 链码的特性导致的。每当像素点的 8 邻域存在多个未标记的轮廓像素点时,传统 8 链码会从起始链码方向 0 开始按逆时针方向判断像素点是否满足外轮廓条件。由于轮廓的走向可以分为上升、水平和下降 3 种,本文也根据箭头朝向将这 8 个链码方向分为向上链码方向、水平链码方向和向下链码方向 3 类。对于单像素宽度的边缘轮廓,如果某一段外轮廓只存在向上链码和水平链码,则认为这段外轮廓呈上升趋势;反之,则认为这段外轮廓呈下降趋势。对于多像素宽度的边缘轮廓,如果当前外轮廓呈下降趋势,则需要优先选择向左方向或者向下链码方向上的像素点,但传统 8 链码必会选择向上链码方向上的像素点,从而导致外轮廓选择错误,链码序列出现冗余。为了准确表达外轮廓信息,需要定义新的链码算法,使其适合外轮廓呈下降趋势的情况,并且能够根据外轮廓的走向自适应地选择链码方向。为此,本文提出了对称 8 链码算法,并描述了相应的编码过程。

3.3 对称 8 链码编码算法

3.3.1 对称 8 链码的定义

由 3.2 节的分析可知,当外轮廓呈下降趋势时,传统 8 链码的链码方向选择顺序与外轮廓的走向正好相反。为了与外轮廓的走向吻合,使其优先选择向左链码方向或者向下链码方向,本文又定义一个左向 8 链码,该链码的起始链码方向与传统 8 链码相反,链码方向的选择顺序与传统 8 链码呈中心对称,如图 5(b)所示。



图 5 对称 8 链码

利用传统 8 链码对呈上升趋势的外轮廓进行编码,利用左向 8 链码对呈下降趋势的外轮廓进行编码,就能够准确表达外轮廓信息。为此,本文将这两种 8 链码合称为对称 8 链码,其表达式为:

$$C_i = \begin{cases} C_i, & \text{外轮廓呈上升趋势} \\ (4+C_i) \% 8, & \text{外轮廓呈下降趋势} \end{cases} \quad (4)$$

其中,%表示模取, C_i 表示外轮廓上第 i 个像素点的传统 8 链码方向值。

3.3.2 变换点的定义

对称 8 链码存在两种链码方式,如何保证链码的正确选择至关重要。由上文分析可知,当边缘轮廓的走向与链码方向的选择顺序不吻合时,才会出现链码错误。为此本文定义一个变换点,当某一像素点 8 邻域内的外轮廓走向发生较大变化时,该像素点即为变换点。继续使用原链码必将导致像素点选择错误,因此从该像素点开始需要进行链码切换。

对于对称 8 链码,如果边缘轮廓开始从上升趋势向下降趋势转变,就需要切换使用左向 8 链码,所以变换点必然发生在上一个像素点为向上链码或者水平链码的情况下。变换点的具体判定规则如下:

(1)如果当前像素点的链码方向向下,当前像素点 8 邻域内的边缘轮廓走向变化较大,故从当前像素点开始需要调整起始链码方向,所以当前像素点为变换点。

(2)如果当前像素点的链码方向向上,两个像素点的链码方向变化不大,说明当前像素点不为变换点。

(3)如果当前像素点的链码方向向左,先从当前像素点出发找到首个链码方向不为 4 的像素点。如果该像素点选择向下链码方向,该像素点就为变换点。

(4)如果当前像素点的链码方向向右,同样按照规则(3)找到首个链码方向不为 0 的像素点。如果该像素点同时存在向上链码和向下链码,传统 8 链码就会选择错误。但该像素点并不一定为变换点,因为从当前像素点开始的 0 方向选择就可能是错误的,故将当前像素点定义为变换点。

变换点判定的公式定义如下:

$$I_{change} = \begin{cases} I_n, & (C_{n-1} = C_u \cap C_n = C_d) \cup (C_{n-1} = C_u \cap C_n = 0 \cap \exists C_k = C_d) \\ I_l, & (C_{n-1} = C_u \cap C_n = 4 \cap C_l = C_d) \end{cases} \quad (5)$$

其中, I_{change} 表示变换点; I_n 表示当前像素点; C_{n-1} 表示上一个像素点的链码值; C_u 表示向上链码; C_d 表示向下链码; C_l 表示从当前像素点开始首个链码值不为 4 的像素点的链码值; C_k 表示从当前像素点开始首个链码值不为 0 的像素点的链码值。

图 6 展示了对称 8 链码的编码效果。其中,深灰色方块代表当前像素点,浅灰色方块代表边缘轮廓像素点,实线箭头代表对称 8 链码的链码选择方向,虚线箭头代表该像素点的传统 8 链码选择方向。可以看出,当前像素点都为变换点,并且从该像素点开始,由两种链码技术得到的外轮廓信息差异很大,对称 8 链码能够自适应地选择链码方式来准确提取外轮廓信息,而传统 8 链码的提取结果不准确。

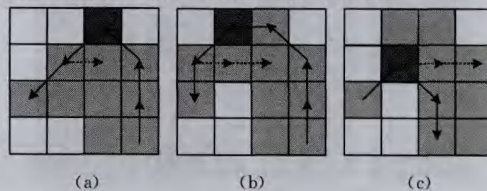


图 6 变换点的 3 种情况

3.3.3 对称 8 链码编码过程

本文选择按行扫描得到的第一个外轮廓像素点作为起始

点。由于链码编码是逆时针方向进行的,起始点应该使用左向 8 链码,因此起始点为变换点。当像素点回到起始点时,链码结束。在进行对称 8 链码编码过程中,应该注意以下几点:

(1)为了避免噪声的干扰,本文利用形状参数 $A = \frac{4\pi S}{L^2}$ (S

表示整个目标图像的面积, L 表示链码序列长度)对链码序列长度进行限制,只有得到的形状参数小于设定阈值时,才认为该链码序列表示的是外轮廓信息,否则就认为是噪声,需要重新进行链码编码。

(2)当像素点的 8 邻域不存在未编码的轮廓像素点时,该像素点并不属于边缘外轮廓,删除该像素点并返回上一个像素点重新进行链码。

4 实验及结果分析

本文对名为“超群火鸟”的蝴蝶兰花卉图像进行实验。图像采集系统硬件主要包括数码相机和联想 PC 机,数码相机型号为 Nikon coolpix L5 (720 万像素),PC 机型号为联想 Y460,Core i5-2.4GHz 双核处理器。编程环境为 MyEclipse 6.5,编程语言为 Java。

本文从轮廓提取和链码编码两方面分别进行算法验证。前者使用不同的边缘检测算法提取蝴蝶兰图像的边缘轮廓,以图的形式比较各算法的优劣。后者利用两种 8 链码技术提取外轮廓信息,以图表的形式比较提取的效果,验证对称 8 链码的可行性和准确性。其中,形状参数的阈值设定为 2,人工统计结果表示人工统计出的边缘轮廓图像中外轮廓像素点个数,误判个数为误判为外轮廓的像素个数即链码技术得到的链码序列长度与人工统计结果之差,误判率为误判个数除以人工统计结果,处理速度为整个链码过程的时间开销。

由于本算法在表达外轮廓信息时并没有借助蝴蝶兰花瓣的专业知识,因此本文进行通用性实验,以分析对称 8 链码算法对其他封闭图像的适合度。

4.1 实验 1 及分析

本实验利用数学形态学算法、Sobel 算子和 Canny 算子对蝴蝶兰图像进行边缘提取,并利用最大类间方差法得到其二值图像,实验结果如图 7 所示。

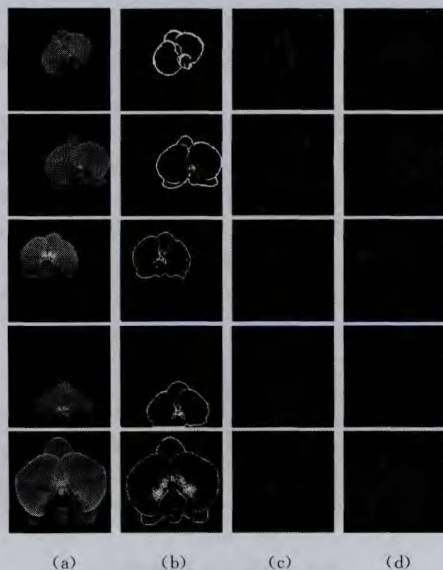


图 7 边缘检测结果

图 7 中,(a)列图像为源图像,(b)列—(d)列的边缘轮廓

图像分别由数学形态学算法、Sobel 算子和 Canny 算子提取得到的。由于 Sobel 算子与 Prewitt 算子和 Roberts 算子的效果相似,本文只选用 Sobel 算子进行处理。可以看到,(b)列图像的边缘轮廓并非单像素宽度,但它们是连续的;(c)列图像的边缘轮廓为单像素宽度,但是存在局部断裂的现象,并不能直接用于链码编码;(d)列图像的边缘轮廓也为单像素宽度,但是存在断裂现象和较多细节和噪声,不利于外轮廓的提取。本实验说明,数学形态学算法较适用于蝴蝶兰图像的边缘轮廓提取。

4.2 实验 2 及分析

本实验利用两种 8 链码技术提取图 7 中(b)列的边缘轮廓图像的外轮廓信息,同时为了验证对称 8 链码的正确性,本文还利用传统 8 链码提取图 7(c)列的图像外轮廓信息以作参考。对于单像素宽度的图像,使用传统 8 链码编码就能准确得到外轮廓信息。由于图 7(c)列图像中存在局部断裂现象,在链码之前还需要手动连接断裂处。链码技术提取的外轮廓信息都保存在一维的链码序列中,为了更直观地展示实验结果,本文利用链码序列还原出外轮廓图像,其结果如图 8 所示,其中,(a)列和(b)列对应的链码序列分别是由传统 8 链码和对称 8 链码技术处理图 7(b)列图像得到的,(c)列对应的链码序列是由传统 8 链码技术处理图 7 中(c)列图像得到的。可以看出,图 8(a)列中的图像包括大量非外轮廓像素点,外轮廓信息表达并不准确,并且还出现严重变形的情况,这给后续分析识别工作带来困难,所以传统 8 链码不适用于多像素宽度的边缘轮廓;图 8(b)列和图 8(c)列还原得到的外轮廓图像光滑,且两列图像的形状几乎完全一致,所以对称 8 链码得到的链码序列能够表达图像的外轮廓信息。



图 8 外轮廓还原图像的比较

为了更精确地说明对称 8 链码的实验结果,本文还从数值化的角度进行对比说明,结果如表 1 和表 2 所列。表 1 列出了图 8 中(a)列—(c)列的链码序列长度对比,以及人工统计的外轮廓像素总数。表 2 在人工统计结果的参照下,列出了运用传统 8 链码和对称 8 链码技术时的误判个数、误判率以及处理速度。从表 1 可知,图 8 中,(b)列和(c)列的链码序列长度与人工统计结果相当;从表 2 可知,使用对称 8 链码技术得到的误判率低于 1%,结合这两点说明对称 8 链码的编码准确度较高。而图 8 中,(a)列的链码序列长度是人工统计结果的两倍多,其误判率超过了 100%,说明传统 8 链码提取的边缘外轮廓冗余现象严重。从表 2 的处理速度来看,虽然对称 8 链码需要判断变换点,但这个判断过程对链码速度影响不大。

表1 各方法得到的链码序列长度

编号	形态学算子+ 对称8链码	形态学算子+ 传统8链码	Sobel算子+ 传统8链码	人工统计 结果
1	332	676	324	329
2	458	996	455	455
3	594	1401	596	591
4	597	1231	583	592
5	981	2308	983	976

表2 传统8链码与对称8链码数据比较

编号	传统8链码 误判个数	传统8链码 误判率	处理速度 (ms)	对称8链码 误判个数	对称8链码 误判率	处理速度 (ms)
1	347	105.5%	140	3	0.91%	172
2	541	119.0%	172	3	0.66%	209
3	947	160.2%	234	2	0.34%	228
4	640	108.1%	250	5	0.84%	266
5	1332	136.5%	270	5	0.51%	265

结合这两个实验可知,利用数学形态学算法和对称8链码编码算法能够准确提取蝴蝶兰图像的外轮廓信息,在保证较低误判率的同时实现了较快的处理速度。

4.3 实验3及分析

对称8链码算法是在目标图像已正确提取的前提下进行的。为此,本文随机选取了20幅已被较好去除背景的图像(见图9)进行实验。利用数学形态学算法和对称8链码进行外轮廓信息表达,得到的外轮廓像素点个数与人工统计的结果如图10所示。从柱状图可以看出,本文算法结果与人工统计结果相似。从折线图可以看出,像素点的误判率都不超过2%,且其准确率受外轮廓像素点个数的影响不大,故本文算法鲁棒性较好,不仅适用于蝴蝶兰,对其他已较好提取出目标的封闭图像也同样适用,具有一定的通用性。



图9 通用性实验用图

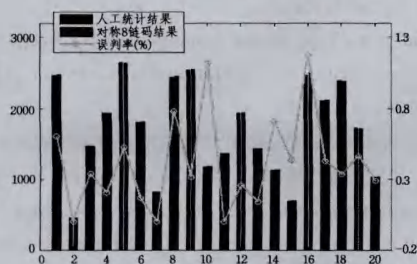


图10 外轮廓像素点个数的比较

4.4 讨论

本文的实验是建立在目标图像只存在单片花朵的条件下,所以利用形状参数就能够很好地将噪声和外轮廓信息区分出来。但是当目标图像中存在多片花朵时,形状参数随着整个面积的变大而远大于设定阈值,此时并不能总将面积最大的花朵外轮廓信息提取出来。为了能够得到面积最大的花朵的外轮廓信息,本文在链码编码过程中记下目前为止最长的链码序列,同时记下该链码序列的起始像素点。如果在链码编码过程中得到了满足判定条件的链码序列,则编码结束。当扫描完整幅图像后,若没有得到满足判定条件的链码序列,则从记录的起始点开始重新进行链码编码。

本文算法能够较准确地提取蝴蝶兰的外轮廓信息,但少量像素点附近的外轮廓信息表达仍然冗余。分析后发现,由于利用形态学算法提取的边缘轮廓存在一定宽度,轮廓像素点位置的的特殊性会导致这种现象的发生。对比图11可以说明该问题。图11(a)能够得到准确且光滑的外轮廓,但是当出现如图11(b)所示的边缘轮廓时,其得到的外轮廓存在一个尖锐的小凸起,此时外轮廓信息表达冗余。由于图像外轮廓应尽可能保持光滑,因此今后的研究将着眼于消除这些小凸起。

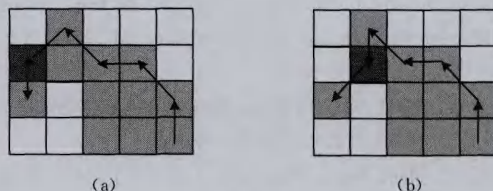


图11 对称8链码的讨论

结束语 为了研究蝴蝶兰的生长态势,需要提取蝴蝶兰的特征参数。外轮廓信息参数是重要的特征参数,该参数可用链码编码得到的链码序列表示。而链码编码所需的边缘轮廓图像由边缘轮廓算法获得。在常用的边缘提取算法中,Canny算子、Sobel算子、Roberts算子和Prewitt算子得到的轮廓图像都存在“断裂”现象,并不能直接用于链码编码,而断点连接会使得边缘轮廓发生一定的变形,所以这些算子并不适用于蝴蝶兰图像;数学形态学算法能够得到连续轮廓,但是该方法得到的边缘轮廓并非是单像素宽度的,运用传统8链码描述其外轮廓形状信息时,发现该算法在提取呈下降趋势的外轮廓信息时,会得到冗余的链码序列。为此,本文提出了对称8链码算法,该算法在传统8链码的基础上再定义了左向8链码算法,使其适用于提取呈下降趋势的外轮廓信息。为了自适应地实现对称8链码编码算法,本文还定义了变换点,变换点的判定能够反映外轮廓的走向,从而自适应地选择链码方式。验证性实验证明,使用对称8链码算法能够较准确地提取外轮廓信息,既保证了较低的误判率,又实现了较快的处理速度,为蝴蝶兰生长态势的研究奠定了良好的基础。通用性实验证明,对称8链码技术可以较准确地提取封闭图像的外轮廓信息。

参考文献

- [1] 李娜,廖飞雄,连芳青,等.中小花型蝴蝶兰品种分类性状主成分与聚类分析[J].江西农业大学学报,2009,31(2):231-236
Li Na, Liao Fei-xiong, Lian Fang-qing, et al. The principal com-

- ponent analysis and cluster analysis of the phalaenopsis cultivars with flowers of small and medium sizes[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2009, 31(2): 231-236
- [2] 杨阳. 蝴蝶兰种质资源的综合评价[D]. 南京: 南京农业大学, 2012
Yang Yang. Comprehensive assessing for phalaenopsis germplasm resource[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012
- [3] 任守纲, 马超, 谢忠红, 等. 基于分水岭和梯度的蝴蝶兰图像分割方法[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(9): 125-129
Ren Shou-gang, Ma Chao, Xie Zhong-hong, et al. Image segmentation algorithm for Phalaenopsis amabilis based on watershed algorithm and gradient[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(9): 125-129
- [4] 任守纲, 马超, 徐焕良. 基于改进主动轮廓模型的图像分割方法研究[J]. *计算机科学*, 2013, 40(7): 289-292, 296
Ren Shou-gang, Ma Chao, Xu Huan-liang. Improved skeleton extraction algorithm based active contour model research[J]. *Computer Science*, 2013, 40(7): 289-293, 296
- [5] Vincent L, Soille P. Watershed in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations[J]. *IEEE Transaction of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, 13(6): 583-598
- [6] 方昱春, 王蕴红, 谭铁牛. 融合人脸轮廓和区域信息改进人脸检测[J]. *计算机学报*, 2004, 27(4): 482-491
Fang Yu-chun, Wang Yun-hong, Tan Tie-niu. Improving face detection through fusion of contour and region information[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2004, 27(4): 482-492
- [7] Xie Y F, Chen H, Gui W H, et al. A novel fractional order sobel operator based on texture images[C]// *Proceedings of 2011 30th Chinese Control Conference*. New York, USA: IEEE, 2011: 3100-3104
- [8] Wang A L, Liu X S. Vehicle license plate location based on improved Roberts operator and mathematical morphology[C]// *Proceedings of the 2012 2nd international conference on instrumentation & measurement, computer communication and control*. Los Alamitos, USA: IEEE Computer Soc, 2012: 995-998
- [9] Shi Jun-tao, Zhu Ying, Chu Xiao-li, et al. A novel approach of edge detection based on gray weighted absolute correlation degree and Prewitt operator[C]// *Proceedings of 2010 International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems*. Piscataway, USA: IEEE, 2010: 232-234
- [10] Hou Li-sha, Du Jun-ping. Canny edge detection based on inertial product energy[C]// *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content*. New York, USA: 2012: 458-462
- [11] 李杰, 苗长云, 武志刚. 基于数学形态学的图像边缘检测算法的研究[J]. *计算机科学*, 2012, 39(6A): 546-548
Li Jie, Miao Chang-yun, Wu Zhi-gang. Algorithm for edge detection of image based on mathematical morphology[J]. *Computer Science*, 2012, 39(6A): 546-548
- [12] Gonzalez R C, Woods R E. *Digital Image Processing (Second Edition)*[M]. USA: Prentice Hall, 2002
- [13] Freeman H. On the encoding of arbitrary geometric configurations[J]. *IRE Transactions on Electronic Computers*. 1961, EC-10(2): 260-268
- [14] Bribiesca E. A geometric structure for two-dimensional shapes and three-dimensional surfaces[J]. *Pattern Recognition*, 1992, 25(5): 483-496
- [15] Bribiesca E. A new chain code[J]. *Pattern Recognition*, 1999, 32(2): 235-251
- [16] Liu Yong-kui, Zalik B. An efficient chain code with Huffman coding[J]. *Pattern Recognition*, 2005, 38(4): 553-557
- [17] 刘勇奎, 魏巍, 郭禾. 压缩链码的研究[J]. *计算机学报*, 2007, 30(2): 281-287
Liu Yong-kui, Wei Wei, Guo He. Research on compressed chain code[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2007, 30(2): 281-287
- [18] Rehman M. A new scale invariant optimized chain code for nastaliq character representation[C]// *Proceedings of 2010 2nd International Conference on Computer Modeling and Simulation*. Piscataway, USA: IEEE, 2010: 400-403
- [19] Jana R, Ray C. Image registration using object shape's chain code[C]// *Proceedings of the 2009 2nd International Congress on Image and Signal Processing*. New York, USA: IEEE, 2009: 1-5
- [20] Dianat O, Haron H. Algorithm for length estimation based on the vertex chain code[C]// *Proceedings of the 2009 International Conference on Signal Processing Systems*. Los Alamitos, USA: IEEE Computer Soc, 2010: 951-954
- [21] 赵宇, 陈雁秋. 曲线描述的一种方法: 夹角链码[J]. *软件学报*, 2004, 15(2): 300-307
Zhao Yu, Chen Yan-qiu. Included angle chain: A method for curve representation[J]. *Journal of Software*, 2004, 15(2): 300-307
- [22] 刘淑娟. 可变夹角链码的研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2005
Liu Shu-juan. The study of the alterable included angle Chain [D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2005
- [23] Wang Chang-qing, Zhou Jian-zhong, Kou Pan-gao, et al. Identification of shaft orbit for hydraulic generator unit using chain code and probability neural network[J]. *Applied Soft Computing*, 2012, 12(1): 423-429
- [24] Zhou Jian-zhong, Xiao Han, Li Chao-shun, et al. Shaft orbit identification for rotating machinery based on statistical fuzzy vector chain code and support vector machine[J]. *Journal of vibroengineering*, 2014, 16(2): 713-724
- [25] 黄雪莲, 胡鹏, 白轶多. 一种改进的等高线断点连接方法[J]. *测绘科学*, 2006, 31(1): 111-114
Huang Xue-lian, Hu Peng, Bai Yi-duo. An improved method for connecting broken contour[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2006, 31(1): 111-115
- [26] 路漫漫, 滕奇志. 蚁群算法实现的图像边缘连接[J]. *计算机应用*, 2010, 30(4): 932-935
Lu Man-man, Teng Qi-zhi. Implementation of edge linking by ant colony algorithm [J]. *Journal of Computer Application*, 2010, 30(4): 932-935
- [27] 于广婷, 朱聪, 李柏林, 等. 光学图像中一种新的边界断点连接方法[J]. *计算机应用研究*, 2014, 31(4): 1264-1266
Yu Guang-ting, Zhu Cong, Li Bai-lin, et al. New connecting method for border breakpoints in optical image[J]. *Applications Research of Computers*, 2014, 31(4): 1264-1266