

夏晶晶, 乔芃喆. 基于 Closed-Form 抠图算法的复杂背景下植物叶片提取[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12): 394-397.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.121

基于 Closed-Form 抠图算法的复杂背景下植物叶片提取

夏晶晶, 乔芃喆

(河南牧业经济学院信息工程系, 河南郑州 450011)

摘要:植物叶片提取是一种将拍摄到的植物叶片与其周围景物分离的技术, 它为计算机技术在植物叶片检索中的应用提供了基础数据和技术支撑。由于自然场景下拍摄的植物叶片往往含有复杂的背景信息, 这使得植物叶片提取成为一项比较复杂的工作。分析复杂背景下植物叶片提取的难点, 针对现有的基于图像分割提取技术存在的缺陷, 将 Closed-Form 抠图算法引入其中并提出 1 种基于 Closed-Form 抠图算法的复杂背景下植物叶片的提取方法。该方法首先需要用户对具有复杂背景的叶片图像添加一定的约束条件, 然后通过估算未知像素的透明度 α 对其进行前景与背景的确认, 从而较好地将具有复杂背景的植物叶片提取出来。试验对比结果表明, 该方法效果较好。

关键词:Closed-Form; 植物叶片; 图像提取; 图像分割; 抠图算法; 背景去除

中图分类号: TP301; S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0394-03

植物作为地球上数量、种类最多的生命形式, 是人们赖以生存的最基本的物质条件, 从各方面影响着人们的生活质量。但是, 随着人类社会的经济发展, 地球上的环境资源受到严重破坏, 首先受到影响的是植物, 尤其是近年来随着雾霾的加剧、气候的变异、洪水的泛滥等自然环境的变化, 使人们意识到保护植物的重要性, 这使得对植物进行分类研究并建立植物物种数据库变得越来越迫切。由于叶片含有植物种类的重要信息, 其形状、颜色、纹理等特征都可以作为区分植物物种的重要特性^[1], 因此植物叶片的提取是研究这些特征, 特别是形状特征的前提。本研究中的叶片提取主要是指提取植物叶片的轮廓, 以便于进一步对植物叶片的形态学特征进行研究。近年来, 诸多科研工作者对植物叶片轮廓的提取主要从图像分割方面进行研究和探索, 王红君等提出 1 个基于各项异性扩展的 Perona & Malik 算法的图像分割方法^[2], 该方法首先利用各项异性扩散 Perona & Malik 算法对图像进行预处理, 然后在预处理的基础上运用分水岭分割算法对图像进行分割, 最后对分割后的图像进行自动种子区域生长并合并小区域。该方法能够较完整地分割出具有复杂背景的植物叶片, 但是其分割效果并不理想。郭学超提出了 1 个基于 Neuts 图论的图像分割方法^[3], 该方法对于多个叶片连接在一起的植物图像有着较为准确的分割, 但是当图像中存在根茎等背景的干扰时, 分割结果就不准确。满庆奎提出了主动轮廓模型、基于标记的分水岭分割算法^[4], 这 2 种算法能较好地提取出目标叶片, 但是在某些背景下分割效果还不是很理想。现有分割方法多数对简单的植物叶片图像有较好的提取效果,

但是在叶片背景比较复杂的情况下, 例如出现粘连叶片时, 在目标叶片的前景和背景交界处存在大量像素点, 这些像素点同时包含前景图像、背景图像的颜色, 此时大多数分割算法提取的效果往往不尽如人意, 这些已被提出的基于图像分割算法的植物叶片提取方法需要进一步完善才能更好地保持图像中叶片的轮廓、形状等拓扑特征。

1 图像分割与抠图技术分析和比较

图像分割与图像抠图这 2 个领域紧密相关, 图像分割是指根据图像中的灰度、几何形状、空间纹理等将图像分成若干个有意义的区域, 使得属于同一区域内部的特征相同或者相近, 而不同子区域间的特征表现出不同的特性^[5]; 图像抠图是需要完整地提取出目标前景。两者本质上都是像素标签的重新分配问题, 可以说图像抠图技术是图像分割的一种特例, 图像抠图技术涵盖部分图像分割算法的思想, 但是两者运用的数学模型又不尽相同, 针对两者对植物叶片的提取特点及适用场景, 可得两者有以下区别。

(1) 抠图技术提取图像目标的针对性比较强, 目的就是 will 将图像中的目标区域与背景区域分离开, 对于植物叶片图像来说, 不同季节的叶片颜色、纹理等特征差异较大, 而抠图算法不受这些因素的影响^[6]。基于这些特点, 抠图技术在复杂背景下提取目标比图像分割方法更有优势。

(2) 从算法复杂度上来说, 抠图技术算法复杂度 high, 图像分割运算速度相对于抠图技术更快。

(3) 图像分割无须用户交互, 而抠图算法则需要用户标记一定的前景区域和背景区域。

就以上 2 个不同角度提取植物叶片方法的特点来说, 图像分割算法可以快速处理一些背景较简单的植物叶片图像, 但是背景较复杂的植物叶片图像则采用抠图算法可以取得更理想的效果。因此, 为了增强复杂背景下植物叶片的提取效果, 本研究提出将 Closed-Form 抠图算法应用到复杂背景下

收稿日期: 2015-10-23

基金项目: 河南省教育厅科学技术研究重点项目 (编号: 13A520380、14A520052)。

作者简介: 夏晶晶 (1982—), 女, 河南商丘人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为智能信息处理、网络设计。E-mail: xiajjhuahe@163.com。

植物叶片的提取,仿真试验结果表明取得了一定效果。

2 基于 Closed-Form 算法的复杂背景下植物叶片提取

2.1 数字抠图

数字抠图是一种将图像中用户需要的目标区域从整幅图像中分离出来的技术,它主要通过用户标记图像中少量的前景与背景,并根据这些标记按照一定规则准确地分离出图像中的目标区域。数字抠图技术主要分为蓝屏抠图、自然图像抠图,所谓蓝屏抠图技术是指所处理的图像背景颜色必须是固定已知的颜色,一般为纯蓝色,而自然图像抠图则对背景不作要求^[7]。数字抠图主要流行的算法有 Knockout 算法、Runzom-Tomasi 算法、Bayesian 算法、Closed-Form 算法。本研究主要分析 Closed-Form 算法,也就是闭合型抠图算法。

2.2 Closed-Form 算法原理

Closed-Form 算法是 Levin 等在 2006 年提出的^[8],其思想是使用闭合形式求解抠图问题。为了能更明了地推导出彩色图像的闭合抠图模型,笔者在灰度图像和彩色图像上进行闭合型抠图推导。

2.2.1 灰度图像公式推导 抠图算法的基本模型是由 Porter 等提出的颜色合成模型:

$$I_i = \alpha_i F_i + (1 - \alpha_i) B_i \quad (1)$$

式中: I_i 为灰度图像的合成像素; α_i 为透明度, $\alpha_i \in [0, 1]$; F_i 为前景像素; B_i 为背景像素。

图像中的每个像素 I_i 都可以看作由前景像素 F_i 、背景像素 B_i 线性组合而成的。当 $\alpha_i = 0$ 时, I_i 属于绝对背景像素;当 $\alpha_i = 1$ 时, I_i 属于绝对前景像素。Closed-Form 抠图算法就是基于这种模型产生的,对于灰度图像中未知区域的每个像素,首先假设其附近存在 1 个小窗口(一般为 3×3 的正方形) ω ,且在该小窗口内前景色 F 、背景色 B 大致不变,在这个假设的基础上可以证明 α 在小窗口 ω 内是 I 的线性变换,根据公式(1)可以得到:

$$\alpha_i \approx a I_i + b, \forall i \in \omega \quad (2)$$

式中: I_i 、 α_i 分别为像素点 i 在窗口 ω 内的合成色、透明度; a 、 b 分别是 1 个标量、1 个 3×1 的矢量。笔者假设前景色 F 、背景色 B 在局部窗口内是平滑的,那么在窗口 ω 内 a 、 b 就可被视为 2 个常量。为了求解透明度 α ,定义如下能量函数:

$$J(\alpha, a, b) = \sum_{j \in \omega} \left[\sum_{i \in \omega_j} (\alpha_i - a_j I_i - b_j)^2 + \varepsilon a_j^2 \right] \quad (3)$$

式中: a_j 、 b_j 为常量; ω_j 为以像素 j 为中心的滑动窗口,一般取 3×3 大小; ε 为 1 个正规化参数,加上这个参数的作用是为了保持数值的稳定性。

因为在局部窗口 ω 中笔者假设 a 、 b 为常量,所以可以消去式中的 a_j 、 b_j ,进而得到 1 个仅关于未知量 α 的 2 次能量函数:

$$J(\alpha) = \alpha^T L \alpha \quad (4)$$

式中: α 为 1 个 $N \times 1$ 的向量; N 为像素的个数; L 为拉普拉斯抠图矩阵(Matting Laplacian),是 1 个大小为 $N \times N$ 的对称矩阵,且第 (i, j) 处的元素为:

$$\sum_{kl(i,j) \in \omega_i} \left\{ \delta_{ij} - \frac{1}{|\omega_k|} \left[1 + \frac{1}{\frac{\varepsilon}{|\omega_k|} + \sigma_k^2} (I_i - \mu_k)(I_j - \mu_k) \right] \right\} \quad (5)$$

式中: δ_{ij} 为克罗内克符号; μ_k 为局部窗口中颜色的均值; σ_k^2 为局部窗口中颜色的方差; $|\omega_k|$ 为局部窗口 ω_k 所包含的像素数

量。Closed-Form 抠图算法中透明度 α 的最优解是可以使能量函数最小化最小的解,所以求解式(4)的能量函数最小值就能够求得全局最优 α 。

2.2.2 彩色图像 通过对灰度图像公式的推导,将上述灰度代价函数分别扩展到 RGB 3 个颜色通道中。另外,笔者用 1 个 4D 线性模型来代替公式(2)中的线性模型:

$$\alpha_i \approx \sum_{j=1}^c a^j I_i^j + b, \forall i \in \omega \quad (6)$$

式中: c 为所有颜色通道的和。

这个组合线性模型的优势是对于笔者之前假设前景色 F 、背景色 B 在每个局部窗口内必须是常数的假设放得更宽松了。现在笔者只用假设在 1 个局部窗口中每个前景色 F 、背景色 B 是任意 2 种颜色的线性组合,换句话说就是在 1 个局部窗口内 F_i 位于 RGB 颜色空间的一条直线上:

$$F_i = \beta_i^F F_1 + (1 - \beta_i^F) F_2 \quad (7)$$

式中: F_1 、 F_2 为 F 中任取的 2 个前景色; β_i^F 为 F 中第 i 个透明度。

同理,背景值 B_i 也可以如下表示:

$$B_i = \beta_i^B B_1 + (1 - \beta_i^B) B_2 \quad (8)$$

将公式(7)、(8)代入公式(1)可得彩色图片的抠图模型:

$$I_i = \alpha_i [\beta_i^F F_1 + (1 - \beta_i^F) F_2] + (1 - \alpha_i) [\beta_i^B B_1 + (1 - \beta_i^B) B_2] \quad (9)$$

再令 H 表示为 $[F_2^c + B_2^c, F_1^c - F_2^c, B_1^c - B_2^c]$ 矩阵,则式(9)可以表示为:

$$H \begin{bmatrix} \alpha_i \\ \alpha_i \beta_i^F \\ (1 - \alpha_i) \beta_i^B \end{bmatrix} = I_i - B_2 \quad (10)$$

进而可以得到数学模型:

$$\alpha_i = \sum a^c I_i^c + b, \forall i \in \omega \quad (11)$$

再利用式(6)中提出的线性模型,对彩色图像的抠图问题定义类似于前面定义的代价函数:

$$J(\alpha, a, b) = \sum_{j \in \omega} \left[\sum_{i \in \omega_j} (\alpha_i - \sum_c a^c I_i^c - b)^2 + \varepsilon \sum_c a_j^{c^2} \right] \quad (12)$$

同理可以从代价函数(12)中将 a^c 和 b 消去,得到 1 个仅剩下未知量 α 的二次函数:

$$J(\alpha) = \alpha^T L \alpha \quad (13)$$

式中: L 是 1 个 $N \times N$ 的 Matting Laplacian 矩阵,并且它的第 (i, j) 项如下:

$$\sum_{kl(i,j) \in \omega_i} \left\{ \delta_{ij} - \frac{1}{|\omega_k|} \left[1 + (I_i - \mu_k)^T \left(\sum_k + \frac{\varepsilon}{|\omega_k|} I_3 \right)^{-1} (I_j - \mu_k) \right] \right\} \quad (14)$$

式中: \sum_k 为 1 个 3×3 大小的矩阵,表示局部窗口 ω_k 中颜色的协方差矩阵; μ_k 为 1 个 3×1 维的颜色均值矢量; $|\omega_k|$ 为局部窗口 ω_k 中包含的像素数量; I_3 为 1 个大小为 3×3 的单位矩阵。式(4)、式(13)中提到的 Laplacian 矩阵 L 的一个重要性质是每行元素的总和为 0,所以 L 的零空间中包含常向量。而且对 Laplacian 矩阵最小特征向量进行分析可以指导用户对图像进行前景与背景的标记。

3 算法实现与对比试验

3.1 添加用户约束

抠图算法的实现是一个不定解求解的过程,需要用户提

供一定的约束信息才能进行求解,根据 Closed-Form 抠图算法的特点,采用线条图标记方式对原始图像进行区域划分,所谓线条图就是在抠图前由用户指定标记图像中的部分前景区域、背景区域,此处笔者用画图工具分别对原始图像的前景、背景进行标记。图 1 是原始叶片图像,图 2 为线条标记后的叶片图像,其中黑色线条标记的区域为确定的目标背景,此时 $\alpha = 0$,白色线条标记的区域为确定的目标前景,此时 $\alpha = 1$ 。



图1 原始叶片图像



图2 区域划分后的图像

3.2 透明度 α 估计

对输入图像进行区域划分后,闭合型抠图算法根据已经获得的信息估计其透明度 α 。

3.3 结果与分析

本研究中提取叶片的目的是为了定位叶片的目标区域,从而便于对其进行形状特征计算。提取结果应该是目标叶片为白色、背景为黑色的二值图像,由于抠图算法是有目的图像分割,目的就是图像中用户标记的目标区域与背景区域进行分离,其算法的过程就是求解图像中像素的前景值、背景值,还要求解透明度 α ,受叶片的其他外界因素影响比较小。图 3 为本研究提出的 Closed-Form 抠图算法所提取的结果,图 4 为基于标记的分水岭分割算法所分割的结果,图 5 为 Canny 边缘提取的结果,图 6 为最大类间方差法 (OTSU) 的分割结果。这几种算法都是图像分割算法中实用性比较强的算法,但是可以看出,这几种分割算法的试验结果并未能很好地将目标叶片与其周围的复杂背景分离开来,而本研究所提出的 Closed-Form 抠图算法很明显的把目标叶片与周围的复杂背景分离开来,优于基于标记的分水岭分割算法所提取的

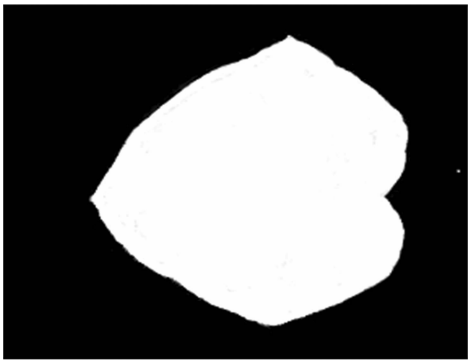


图3 本研究 Closed-Form 抠图算法提取结果



图4 基于标记的分水岭算法分割结果

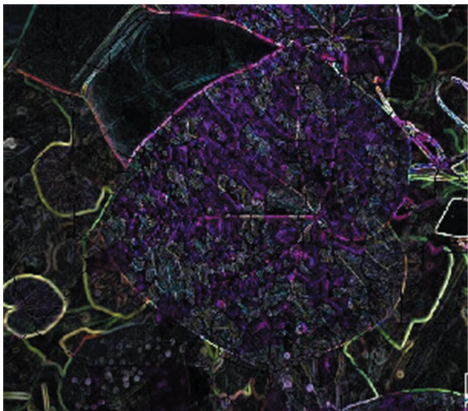


图5 Canny 边缘提取结果



图6 OTSU 分割结果

结果,达到了预期的效果。

唐朝胜,刘世洪,段玉聪.一种决策支持系统模型动态生成策略研究[J].江苏农业科学,2016,44(12):397-401.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.122

一种决策支持系统模型动态生成策略研究

唐朝胜^{1,2},刘世洪¹,段玉聪²

(1. 中国农业科学院农业信息研究所,北京 100081; 2. 海南大学,海南海口 570228)

摘要:在已知决策支持系统(DSS)模型表达形式的基础上,探索其计算机实现过程中的自动化。针对目前模型驱动工程中有关 DSS 模型的研究集中于领域模型构建机制及平台的搭建,而对模型复合及求解等生成机制方面的研究关注不足,本研究提出了一种基于 WF 工作流等技术来完成 DSS 模型从创建到复合运行的自动化策略,并实现了相应的框架原型。该框架提供了人性化的模型生成环境,所有实现细节对模型研究者而言均为黑盒抽象,使用者无需编程即可完成模型的生成。此策略为 DSS 模型构建的工程化、智能化提供了一种新的思路。

关键词:决策支持系统(DSS)模型;模型驱动;WF 工作流;框架

中图分类号: TP311.52;S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0397-05

决策支持系统(Decision Support System, DSS)是以计算机技术为基础的对决策支持的知识信息系统,用于处理决策过程中的半结构化和非结构化问题^[1]。一般而言,决策者使用 DSS 不是直接依靠数据进行决策,而是依靠模型库中的模型进行决策,所以 DSS 是由“模型驱动”的^[2]。因此有关模型的表达、存储及执行等模型生成方面的研究显得尤为重要。良好的模型生成环境有助于高质量 DSS 模型的构建及运行,如通过配置 Hadoop 云环境,可实现模型的并行计算^[3];或以面向服务为架构,设计作物模型区域应用 Web 服务组合框架等来解决作物模型与 GIS 集成环境问题^[4]。

近年来,将模型驱动工程等新兴开发方法应用于 DSS 模型综合生成环境的研究成为新热点。如有学者提出基于问题

求解的模型表示方法^[5]、定性定量相结合的综合集成模型构造方法^[6]、基于模型驱动开发理论的设计流程建模工具^[7]或作物生长模型可视化设计工具^[8],以及综合作物系统模拟技术、知识工程及自适应软件开发方法,运用系统分析和知识建模手段,采用模型描述脚本功能构建作物生长模型来设计智能化作物集成建模辅助系统^[9]。

模型驱动工程的优点是采用相关领域的建模语言,构建可视化模型,使领域专家和设计人员专注于业务逻辑而无需过早考虑平台相关的实现细节。然而领域模型构建后,最终还需要通过自动(半自动)的层层转换完成从设计到实现的过渡。虽然采用模型驱动工程开发方法将有助于构建领域模型 PIM(平台无关模型),但目前针对将 PIM 转化为 PSM(平台相关模型)的代码框架构建以及模型的复合和运行方面的研究仍显不足。从系统的计算机实现角度看,仍存在模型转换过程中过度依赖于程序代码等现象,缺乏自动化和智能化、面向建模人员的模型构建、复合及运行的系统环境。

由于微软的 WF 提供了良好的工作流建模环境,可以在此平台上进行二次开发,内嵌的 WF 工作流引擎可完成工作流的解析,因此设想 DSS 子模型的复合和求解过程即为一个

收稿日期:2015-10-16

基金项目:国家自然科学基金(编号:61363007)。

作者简介:唐朝胜(1975—),男,湖南资兴人,副教授,主要从事软件工程、作物信息化研究。E-mail: tcsjk@163.com。

通信作者:刘世洪,研究员,主要从事农业信息化研究。E-mail: liushihong@caas.cn。

4 结论

本研究将 Closed-Form 算法用于复杂背景下植物叶片的提取,很好地解决了传统图像分割技术在分割复杂背景植物叶片时存在的问题。试验结果表明,该方法效果较好,从而为下一步植物叶片的识别工作提供了一种新的解决方法。然而,由于 Closed-Form 算法复杂度比较高,且需要一定的用户交互,这在一定程度上影响了叶片图像的提取效率,如何克服该算法的这些不足,提出更有实效性的方法,成为未来研究工作的重点。

参考文献:

[1] 王晓峰,黄德双,杜吉祥,等.叶片图像特征提取与识别技术的研究[J]. 计算机工程与应用,2006,42(3):190-193.

[2] 王红君,陈伟,赵辉,等.复杂背景下植物叶片的彩色图像分割[J]. 中国农机化学报,2013,34(2):186-190.

[3] 郭学超.基于水平集与图切理论的植物图像分割方法研究[D]. 泉州:华侨大学,2013.

[4] 满庆奎.复杂背景下植物叶片图像分割算法[D]. 曲阜:曲阜师范大学,2009.

[5] 罗林.图像分割算法研究[D]. 武汉:武汉科技大学,2007.

[6] 王晓松,黄心渊,付慧.复杂背景下的树木图像提取[J]. 北京林业大学学报,2010,32(3):197-203.

[7] 林生佑,潘瑞芳,杜辉,等.数字抠图技术综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2007,19(4):473-479.

[8] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. A closed form solution to natural image matting [C]//Proceedings of IEEE CVPR. USA. New York: IEEE, 2006:228-242.