

Droplets Image Segmentations Method Based on Graph Theory

Wei Cheng, Ping Liang

Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China

Email: chw@mail.hyit.edu.cn, hyitlp@163.com

Abstract: Droplets size is an important index for estimating the performance of equipment for crop protection. Based on the Region Growing, uses the Kruskal algorithm generation minimum spanning tree in the paper to improve the quality and efficiency of the droplets detection, which achieves droplets image segmentation based on graph theory. The experiment results show good results of segmentation.

Keywords: droplets; image segmentation; graph algorithm; minimum spanning tree

基于图论的雾滴图像分割方法

程 伟, 梁 萍

淮阴工学院, 淮安 中国 223003

Email: chw@mail.hyit.edu.cn, hyitlp@163.com

摘 要: 雾滴的尺寸参数是评价植保机械性能最主要的质量指标。为了提高雾滴检测的质量和效率, 提出了一种基于区域合并的原则, 利用 Kruskal 算法生成最小生成树, 实现了基于图论的雾滴图像分割。实验结果表明该文的算法能取得很好的分割效果。

关键词: 雾滴; 图像分割; 图论算法; 最小生成树

1 引言

雾滴尺寸参数是决定植保机械性能的重要指标, 随着人们对雾滴尺寸影响雾滴性能发挥的深入认识, 以及对雾滴漂移等所产生问题的极大关注, 雾滴尺寸测量技术的研究正日益被重视。因此, 快速、准确地测量雾滴尺寸, 掌握喷雾雾滴尺寸分布规律是研制、试验、生产和使用植保机械以及各类喷雾装置必不可少的技术, 对更好地理解和控制各个领域喷雾过程具有非常重要的意义。在光电制造技术和数字图像处理技术的不断发展下, 计算机视觉技术已在各个领域得到广泛地应用。开展基于计算机视觉的雾滴参数测量技术的研究, 能迅速完成雾滴的测量和分析, 而且可以得到雾滴参数的量化指标。利用计算机视觉技术对喷雾性能检测和雾滴尺寸的测量已成为喷雾技术研究的重要方向^[1]。雾滴图像的分割是研究基于计算机视觉雾滴尺寸参数测量的基础, 其中雾滴图像的分割是检测工作的基础, 基于图论的图

像分割技术作为一种新的研究方法, 引起了人们越来越多的兴趣, 本文将应用图论算法对雾滴图像进行分割。该方法将图像映射为带权无向图, 把一个像素或一个区域视作节点, 图的每一条边被赋予权重, 这个权重是通过对那些处在相同分割之中的边相关联的像素或区域所期望的某种度量来测度; 通过使图的成份中节点的特征代价函数最小化, 将这样的图分成一些组成成份。

2 基于图论的分割方法

基于图论的图像分割方法主要有: 基于最小生成树的方法、最小化切割方法和谱方法等, 其中利用最小生成树 (Minimum Spanning Tree, MST) 的方法很有优势。它能够获取图像的全局特征, 得到比较理想的分割效果; 它的计算速度非常快, 能够在线性时间复杂度内对图像完成分割^[2]; 它的算法结构和实现方法相对简单, 可以容易地应用到特定的领域中, 或者和其他分割方法进行组合, 获得良好的分割效果。最小化切割方法与基于最小生成树的方法有非常密切的联系, 从某种意义上讲, 最小化切割可以通过最小生成树完成^[3]。谱方法主

资助信息: 本文的研究得到了国家林业局“948”项目“林业病虫害防治大型车载烟雾机技术引进”的支持。

要是通过对图谱的分析来发现图的主要性质与结构,即对图像构造相似度矩阵 W 或 Laplacian 矩阵 L , 然后求解矩阵的特征矢量并以此直接或进一步构造特征矢量知道分割^[4]。

2.1 基于图论的区域合并的分割算法

1. 最小生成树的表示

设无向图 $G = (V, \{E\})$, 其中 $V = \{V_i\}$ 为无向图中所有节点的集合, $E = \{(v_i, v_j)\}$ 为无向图中所有边的集合。一个典型的无向图 $G = (V, \{E\})$ 如图 1 所示, 其中 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6\}$, $E = \{(v_1, v_5), (v_5, v_6), (v_6, v_4), (v_4, v_2), (v_4, v_3)\}$ 。

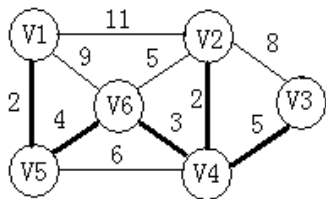


Figure 1 A example of undirected graph and minimum spanning tree

图 1 一个典型的无向图和最小生成树示例

在无向图 G 中, 如果从节点 v_i 到节点 v_j 有路径, 则称 v_i 和 v_j 是连通的。如果对于图中任意两个节点 $v_i, v_j \in V$, v_i 和 v_j 都是连通的, 则称 G 是连通图 (Connected Graph)。无向图中的极大连通子图被称为连通分量。一个连通图的生成树是一个极小连通子图, 它含有图中全部节点, 但只有足以构成一棵树的 $n-1$ 条边。无向图 G 的一棵生成树如图 1 中粗线条所示。

从一个无向图 G 中可以构造许多不同的生成树。假设对无向图 G 的每条边都赋予一个权值, 权值表示这条边连接所要付出的代价。则一棵生成树的代价就是该生成树上各条边的权值之和。其中, 代价最小的那棵生成树被称为最小代价生成树, 简称为最小生成树。图的特征代价函数和权函数如下:

1) 图的特征代价函数^[5]

将图像视为一带权无向图 $G = (V, \{E\})$, 像素集被看作节点集 V , 边缘集被看作边集 E , 像素之间的连接权为 $W(i, j)$, 这将图像二值划分为两个集合 (区域) A 、 B 的特征代价函数为

$$cut(A, B) = \sum_{i \in A, j \in B} w(i, j) \quad \text{式1}$$

能让上式最小的生成树为最小生成树。

2) 权函数

权函数一般定义为两个节点之间的相似度。常见的权函数有下面的形式:

$$W(i, j) = \exp\left(-\frac{\|F_i - F_j\|_2^2}{\sigma_1^2}\right) \times \begin{cases} \exp\left(-\frac{\|X_i - X_j\|_2^2}{\sigma_x^2}\right) & \text{if } \|X_i - X_j\|_2 < r \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad \text{式2}$$

式 2 中, 对于灰度图像, F_i 的值为像素的灰度值, X_i 为像素的空间的坐标, σ_1 为灰度高斯函数的标准方差, σ_x 为空间距离高斯函数的方差, r 为两项数之间的有效距离, 超过这一距离则认为两像素之间的相似度为 0。此相似度函数认为, 两像素之间的灰度值越接近这两像素之间的相似度越大, 两像素之间的距离越近则其相似度也越大。

此外, 文献^[6]中还定义了下面的权函数。

$$W(i, j) = \exp\left(-\frac{\|I_i - J_j\|_2^2}{\sigma_1^2}\right) \quad \text{式3}$$

$$W(i, j) = (I_i - J_j) \quad \text{式4}$$

最小生成树遍历了图 G 中所有的节点, 并且含有极值特性, 因此可以对应图像中某个具有同质特性的区域。将图像中这样的区域映射为一个分离集森林 (Disjoint-set Forest), 于是可将图像分割问题转换为求这个由最小生成树构成的分离集森林的问题^[7]。

2.2 Kruskal 算法

构造最小生成树有多种算法, 其中在图像分割中所采用的算法主要有 Kruskal 算法、Prim 算法等。每个方法使用不同的策略按权重选择特定的边构成最小生成树, 有的使用特定的数据结构来加速算法的运行, 因此它们的速度在不同的情况下稍有差别。Kruskal 算法适合于求边稀疏的无向图的最小生成树, 而 Prim 算法则适合于求边稠密的无向图的最小生成树。下面就 Kruskal 算法来描述最小生成树的生成。

设无向图 $G = (V, \{E\})$, 则令最小生成树的初始状态为只有 n 个节点而无边的非连通图 $T = (V, \{\})$, 图中每个节点自成一个连通分量。在 E 中选择权值最小的边, 若该边依附的节点落在 T 中不同的连通分量上, 则将此边加入 T 中, 否则舍去此边而选择下一条权值最小的边。依次类推, 直至 T 中所有节点都在同一连通分量上为止。依照 Kruskal 算法构造一棵最小生成树的过程如图 1 所示, 各边的权值如图 2 所示, 其中图 a) 为最小生成树的初始状态, 图 b)、图 c)、图 d)、图 e) 为向最小生成树添加边的过程, 图 f)

为最终构造的最小生成树。

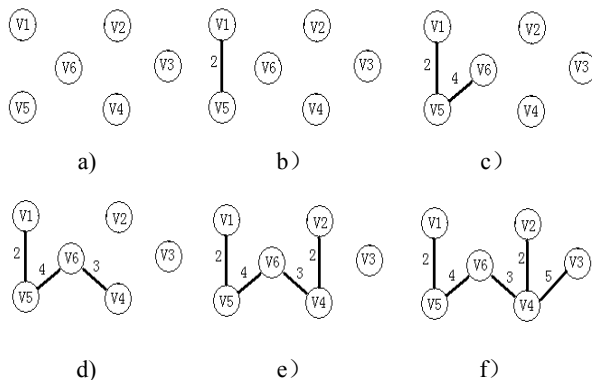


Figure 2. Algorithm procedure of Kruskal minimum spanning tree

图 2 Kruskal 最小生成树算法过程示例

Kruskal 算法每次加入最小权重边形成最小生成树，是一种贪婪算法。贪婪算法定义为一种快速算法，它通过迭代做出试探性的好选择，从而形成一个可行的好的求解结果。它一般不保证最优求解，但是对于 Kruskal 方法来说，它可以生成一个最优树。

2.2 基于最小生成树的图像分割算法

在图像分割方法中，最重要的是如何选择分割准则，基于图论的图像分割准则主要有^[8]：

1) 基于特征向量的分割准则

该方法类似于权重的矩阵对角化。设有 k 个元素需要分成 c 类，把元素与第 m 类的相关性记为一个向量 P_m 。如 $P_m = (P_1, \dots, P_n)$ ，那么表示第 i 个元素属于第 m 类的可能是 P_i ，这样可以构造一个目标函数：

$$F = P_m^T W P_m \quad \text{式5}$$

显然，当目标函数取最大值时，表示类中各元素之间具有很大的相似度，同时都有“很大的可能”属于该类。该方法计算量很大，合理确定分类困难。

2) 基于归一化的分割准则

基于归一化的分割准则是一种分层分割的方法，首先将整幅图分成两部分，此后每一步都只将其中一部分再分为两部分，直到某种条件得到满足才停止分割。设一加权图 G 分为 A 、 B 两个部分，那么可对这一分割进行如下评价：

$$F = \frac{cut(A, B)}{assoc(A, G)} + \frac{cut(A, B)}{assoc(B, G)} \quad \text{式6}$$

式中， $cut(A, B)$ 是 A 和 B 间所有的连接权重之和， $assoc(A, G)$ 是有一个定点在 A 中所有的连接权

重之和。若一个分割足够的好，那么 $cut(A, B)$ 的值很小而 $assoc(A, G)$ 和 $assoc(B, G)$ 相对比较大，那么分割问题转化为求 F 的极小值的问题。该方法的运算量比基于特征向量的分割准则要大，而且没有理论上的规则停止分割造成不易收敛的情况。

3) 基于区域合并的分割准则

与前两种方法“大而分之”的思路不同，Felzenszwalb 和 Huttenlocher^[4]提出了“小而并之”的分割准则，即比较区域之间和区域内部的特征差来判断是否在两个区域之间存在边界，这个准则能够适应图像的内容，所以能够获得全局的视觉特征。同时，这个方法在算法效率上有很好的优势。

对于一个给定的图 $G = (V, E)$ ，假设有 n 个节点和 m 个连接， C 为分离集森林的每个集合，输出的分割结果是一个聚类的结果 $S = (C_1, C_2, \dots, C_r)$ 。

(1) 把 E 中所有的权重按照升序排列

$$\pi = (O_1, O_2, \dots, O_m)。$$

(2) 初始化一个分割 S^0 ，在这个分割中，每一个节点（像素）就是一类。

(3) 对于 $q = 1, 2, \dots, m$ ，重复第 4 步。

(4) 假设 C_i^{q-1} 是第 $q-1$ 次区域合并结果 S^{q-1} 中包含节点 V_i 的类， C_j^{q-1} 是 S^{q-1} 中包含 V_j 的类。若 $C_i^{q-1} \neq C_j^{q-1}$ 并且

$$W(o_q) \leq \min \left\{ \max_{V_i, V_j \in C_1} w(V_i, V_j) + \tau(C_1), \max_{V_i, V_j \in C_2} w(V_i, V_j) + \tau(C_2) \right\} \quad \text{式7}$$

那么，合并 C_i^{q-1} 和 C_j^{q-1} ，作为第 q 次区域合并得结果 S^q ，否则 $S^q = S^{q-1}$ 。

(5) 返回 $S = S^m$ 。

其中， τ 为一个阈值函数，可以定义为：

$$\tau(C) = \frac{k}{|C|} \quad \text{式8}$$

k 为常数， $|C|$ 为 C 的元素数目。阈值函数 $\tau(C)$ 是用来控制过分割产生的小区域的， k 越大，抑制小区域的效果越明显。算法实际运行中， k 越大，越容易产生大区域；但是要注意 k 不是指最小区域的大小，此算法允许小区域的出现。显然，对于面积小的类，如果要独立一个类而不和别的类合并，那么需要更大的最大类间差异，对于面积大的类则相反，这样的做法保证了最终结果不会产生过分割的情况，符合通常图像分割的要求。

3 分割的实例

本文将基于图论的区域合并的分割算法应用在雾滴图像的检测中,如图3所示,为了验证本文提出的算法的有效性,选取了一幅包含多个雾滴以及有模糊雾滴背景的图像。由于雾滴是通过油皿采集的,在原图(图a)中,雾滴图像的背景中有一些不清晰的雾滴图像,在进行去噪、图像平滑等图像增强的预处理后,由于图片源(光源太强和噪声等影响)的问题,使得雾滴图像中经常出现内部有孔洞的问题,采用种子填充算法,将雾滴内部的孔洞进行填充,从图c)中可以看出,采用图论的方法对雾滴图像中目标区域进行分割能够获得很好的效果。

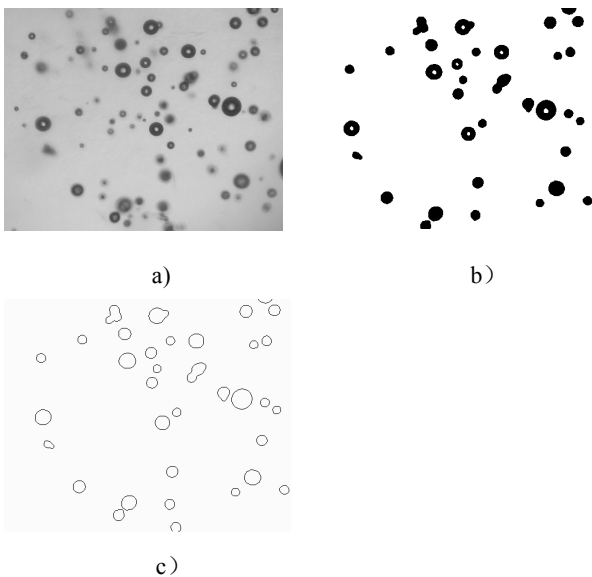


Figure 3. A sample of droplets image segmentation based on minimum spanning tree

图3 基于最小生成树的雾滴图像分割实例

4.结束语

在实际应用中,基于图论的图像分割方法也有着自身固有的缺陷:即对类间相互很接近的数据无法处理,对相似性的区分能力不够强。如目标的颜色与背

景接近时会产生许多伪割集(Spurious Cuts,即错误分割)。但这并不能掩盖图论方法在雾滴分割中的优点:在处理局部数据较为容易,前已述及,图论方法解决问题时,首先是建立与问题(图像数据)相适应的图,其中图的雾滴对应于被分析数据的最小单元(如像素或区域等),图的边对应于最小处理单元数据之间的相似性(相异性)度量,因此,每一个最小处理单元数据之间都会有一个度量表达,这就确保了数据的局部特性比较易于处理。这样,对于数据较大的图像,先将其分成几个子图像,再采用图论方法可以取得较好的效果。

References (参考文献)

- [1] Liang Ping. Study on Droplet Size Detection System Based on Computer Vision [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment. 2009, 37 (12):38-40.
梁萍. 基于计算机视觉的雾滴尺寸检测系统的研究设计[J]. 林业机械与木工设备, 2009, 37 (12): 38-40.
- [2] P.F. Felzenszwalb and D.P. Huttenlocher. Efficient Graph-Based Image Segmentation. International Journal of Computer Vision[J], Kluwer Academic Publishers, 2004, 2: 167-181.
- [3] Z. Wu and R. Leahy. An Optimal Graph Theoretic Approach to Data Clustering: Theory and Its Application to Image Segmentation [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence. IEEE Transactions 1993, 11:1101-1113.
- [4] S. Sarkar, K. L. Boyer. Quantitative Measures of Change Based on Feature Organization: Eigenvalues and Eigenvectors[C]. Proc IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1996.
- [5] Yan Cheng-xin, Sang Nong, Zhang Tian-xu. Survey on Graph Theory based Image Segmentation Technique[J]. Computer Engineering And Applications, 2006, 5:11-14
闫成新, 桑农, 张天序. 基于图论的图像分割研究进展[J]. 计算机工程与应用, 2006, 5:11-14.
- [6] S. Wang, J. M. Siskind. Image segmentation with ratio cut [J]. IEEE Trans on PAMI 2003, 25(6): 675-690.
- [7] T.H.Cormen, C.E.Leiserson, R.L.Rivest and C.Stein. Introduction to Algorithm [M] (2nd Edition). The MIT Press, Higher Education Press, Beijing, China, 2002.
- [8] YANG Fan LIAO Qing-min. Analysis and Research of Graph-based Segmentation Method[J]. VIDEO ENGINEERING, 2006, 7: 80-83.
杨帆, 廖庆敏. 基于图论的图像分割算法的分析与研究[J]. 电视技术, 2006, 7: 80-83.