

图像分割概要

Dezeming Family

2022 年 5 月 18 日

DezemingFamily 系列书和小册子因为是电子书，所以可以很方便地进行修改和重新发布。如果您获得了 DezemingFamily 的系列书，可以从我们的网站 [<https://dezeming.top/>] 找到最新版。对书的内容建议和出现的错误欢迎在网站留言。

目录

一 基本介绍	1
二 阈值分割方法	1
2.1 直方图双峰法	1
2.2 全局阈值处理法	2
三 区域的分割方法	2
四 边缘分割方法	3
五 基于特定理论的分割方法	3
5.1 基于聚类的方法	3
5.2 基于模糊集的方法	4
六 基于形态学分水岭的方法	4
七 基于数学形态学的分割方法	4
八 基因编码分割	4
九 小波变换分割	5
十 基于图论的分割	5
十一 超像素分割	5
十二 基于深度学习的分割	5
参考文献	5

一 基本介绍

本文是一个概要，介绍计算机视觉/图像处理领域中的图像分割方法。

图像分割将图像分割为若干区域，这些区域中，每个区域的像素需要有一定相似性质。例如阈值分割，将亮像素和暗像素区分开。

图像分割的基本方法有基于阈值的分割，基于区域的分割，基于边缘的分割，基于特定理论的分割（例如聚类、模糊集理论），基于形态学分水岭的方法、基于数学形态学的方法、基于基因编码的分割，基于小波变换的分割，基于图论的分割以及基于深度学习的分割等。

现阶段研究比较热门的方法是语义分割 (semantic segmentation) 和实例分割 (Instance segmentation)，语义分割就是将像素点划分到不同的类别；实例分割就是将这些类别再进行划分，比如有些类别是“人”，有些类别是“汽车”。下图来自于 [1]：

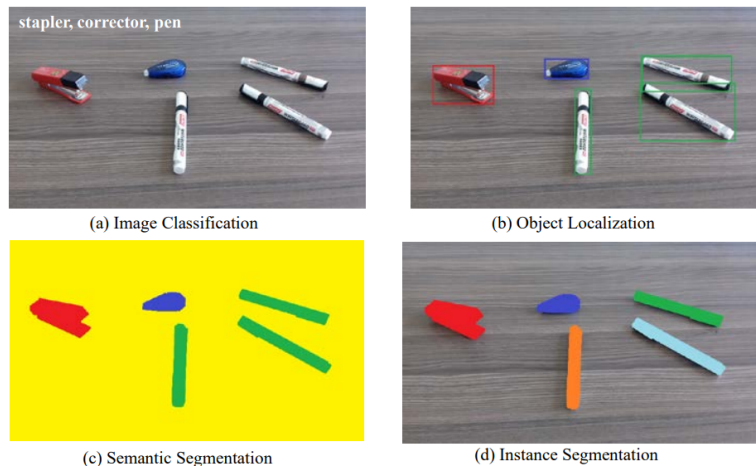


图 1: 图像分类、定位与分割

本文对各种分割方法的基本思想做一个简单和较为全面的介绍。如果某种算法的实现较为复杂，则不会详细讲解，本文的重点是各种分割方法的思路。

二 阈值分割方法

2.1 直方图双峰法

如果物体背景比较暗，目标比较亮，则直方图表现为双峰：

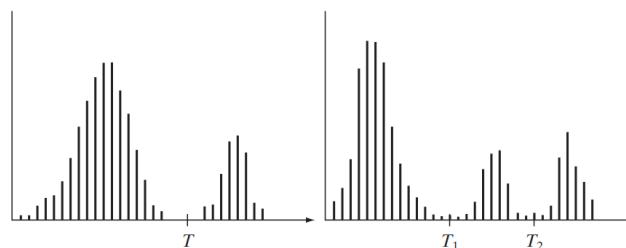


图 2: 直方图双峰，左图可以用单阈值分割为两部分，右图可以用两个阈值来分割为三个部分。

可以根据直方图双峰之间的低谷作为阈值来分割，注意当峰的数量大于 2 个时则分割结果就会很差了。如果图像被噪声污染，则直方图表现得也会很不好，从而失去双峰特性：

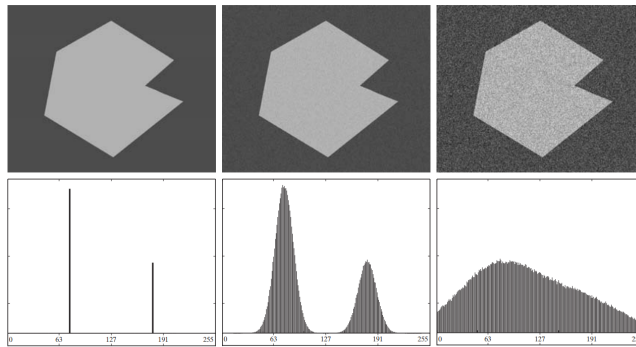


图 3: 图像被污染以后, 直方图双峰特性变差, 无法再用于分割。

2.2 全局阈值处理法

迭代全局处理方法表示如下 (ΔT 是一个初设值):

- [1]. 选择初始估计阈值 T_0 。
- [2]. 使用当前选择的阈值分割图像, 分为两组, 求这两组的平均灰度 m_1 和 m_2 。
- [3]. 计算出新的阈值 $T_i = 0.5(m_1 + m_2)$ 。
- [4]. 重复第二步到第三步, 一直到 $T_i - T_{i-1} < \Delta T$ 为止。

迭代使得像素的划分更有效。

Otsu 是一种最佳全局阈值处理方法, 它在一张图像的直方图上进行计算, 该方法在每个类别之间方差最大的情况下是最佳的 (基于统计的决策方案)。Otsu 还可以扩展为多阈值处理方法, 扩展方式暂且不提。

即使使用全局阈值处理, 也需要进行图像平滑来降低一下图像噪声, 否则单纯使用阈值来分割一定会效果很差。此外, 当目标较小, 而噪声较高时, 小目标对直方图的贡献会被噪声影响, 因此难以分割得很好。通过提取边缘信息, 用边缘来改善全局阈值也是可以的, 比如将拉普拉斯准则得到的像素 (边缘图像) 构建直方图, 然后对拉普拉斯直方图进行阈值处理。

有固定阈值法就有可变阈值方法, 可以通过获取图像局部特征来进行可变阈值处理, 比如根据局部标准差和方差来决定阈值。常用的移动平均阈值法, 移动局部块来进行分割:

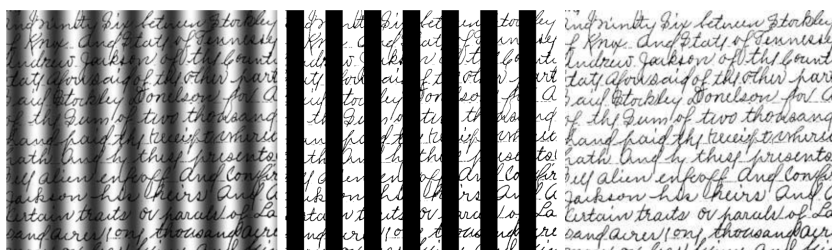


图 4: 左图是原图; 中间是使用 Otsu 方法得到的分割效果; 右边是使用移动平均局部阈值处理方法得到的结果。

根据不同的图像分割需求, 例如对彩图的分割, 也会考虑多阈值方法, 将偏红或偏蓝的内容分离开。

三 区域的分割方法

基于区域的分割方法主要有区域增长法和区域的分裂和聚合法, 以及例如连通区域算法等较为特殊的方法。

连通区域算法主要处理二值化图像, 把所有相连的点构成一个连通区域。连通区域一般通过 Two-pass 扫描算法来构建, 方法较为简单, 暂不赘述。

区域生长算法将像素或者子区域不断扩展。

- [1]. 首先找到一个没有归属的像素，然后设置为 (x_0, y_0) 。
- [2]. 之后以该像素为中心，向周边 4 邻域扩展，将邻域与 (x_0, y_0) 相似的像素（满足相似条件）压入堆栈。
- [3]. 之后从堆栈中取出一个像素，做为新的 (x_0, y_0) ，重复上述过程，直到堆栈空了为止。

相似条件需要根据不同的情况来拟定。

区域分裂则是先将图像细分为任意不相交的区域，之后对这些子区域再进行分裂或者聚合。一般会将一个大面积划分为四个小区域（四象限划分），然后再把小区域再进行四象限划分，直到无法再划分为止。然后再将划分好的区域与邻接区域进行逐步合并，直到无法再合并为止。

四 边缘分割方法

边缘一共有三类别：

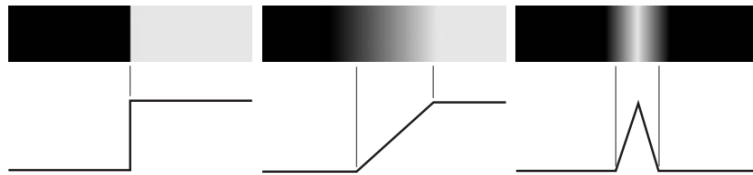


图 5: 三种边缘，从左到右分别是阶梯形边缘、斜坡形边缘和屋顶形边缘。

实际的数字图像中，边缘处会有很多噪声，而且比较模糊（由图像获取聚焦机理造成）。对于屋顶边缘来说，如果线比较细，则较容易检测出来；如果比较粗，用 3×3 的模板很难检测出来，有可能会被当做台阶边缘或者斜坡边缘。

信号的一阶导数表示为 $f(x+1) - f(x)$ ，二阶导数表示为 $(f(x+2) - f(x+1)) - (f(x+1) - f(x))$ 。扩展为二维情况就是图像像素的一阶和二阶导数，二阶导数被称为图像的拉普拉斯。

当图像存在一定量噪声时，如图6，第二列表示图像的一阶导数与剖面值，第三列表示图像的二阶拉普拉斯与剖面值。可以看到对一阶导数和二阶导数影响很大，尤其是二阶导数，已经几乎无法再用来检测边缘特征。

由此，在检测边缘时，需要首先图像进行平滑处理，否则噪声会造成很大的影响。

边缘检测的算法有很多，例如梯度检测（包括 Sobel 检测和 Prewitt 检测等），LOG 和 DOG 检测、Canny 边缘检测、坎尼边缘检测、霍夫变换边缘检测等算法。

边缘检测出以后，还需要对边缘进行连接，把边缘图中的线提取出来，然后再把线组合成多边形。

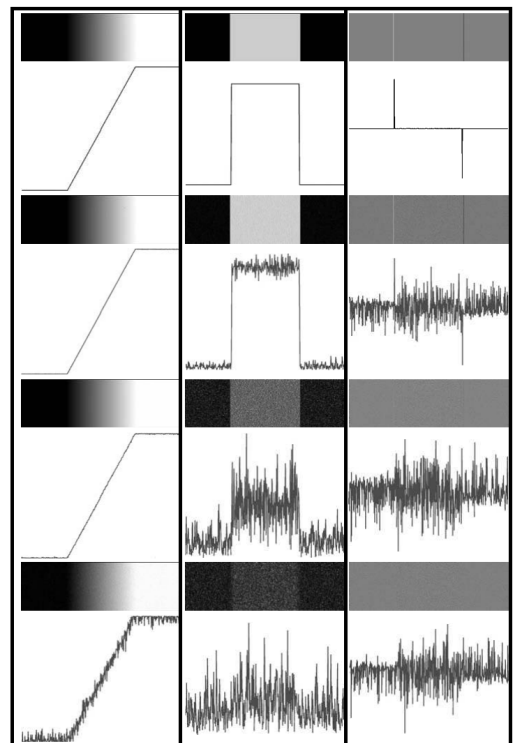


图 6: 存在噪声的图像边缘的一阶导数与二阶导数。

五 基于特定理论的分割方法

5.1 基于聚类的方法

基于聚类的分割需要先将整体划分为一个个小区域，然后对这些小区域根据相似性进行聚类操作。聚类的方法可见《聚类算法与代码实践》。

5.2 基于模糊集的方法

图像分割中应用模糊理论算法是为了解决一些分割方法易产生过分割的问题，例如把背景误分为前景目标（欠分割则相反，将前景目标的一些区域分割到了背景中）。其中最常用的是模糊聚类方法，根据事物间的相似性进行区分和分类，要求尽量保证同一个组内的数据具有较高的相似度，而且不同组之间的数据具有较大的差异性，例如模糊 C-均值聚类算法 (FCM)。

六 基于形态学分水岭的方法

形态学分水岭算法可以产生非常稳定的效果，包括连接的分割边界也会比较稳定（它综合了很多方法的优势）。

形态学分水岭方法首先构建梯度图 (a)，模拟山峰和盆地 (b)：

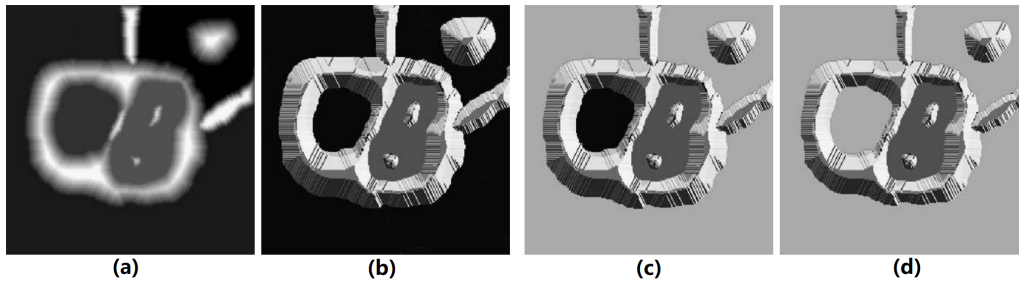


图 7: 形态学分水岭方法 1。

然后模拟水慢慢淹没的过程 (c) 和 (d)。

同时，为了防止一个盆地的水流入另一个盆地，当一个盆地溢出时，需要构建“水坝”。(f) 和 (g) 的红框框起来的线就是水坝。

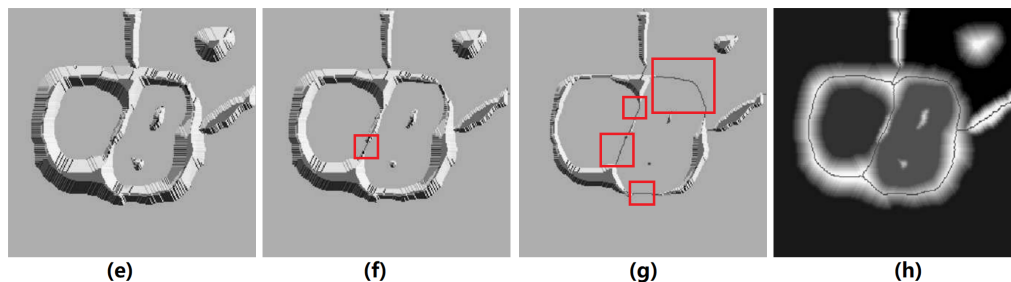


图 8: 形态学分水岭方法 2。

直到达到最高水位，构建出的水坝就是分割线 (h)。

七 基于数学形态学的分割方法

一般又叫腐蚀-膨胀法。在分割中引入结构元素，将输入图像与结构元素进行数学形态学运算。该算法需要一定的理论基础，但也是一种逐步合并的方法。

除了形态学分割，类似的还有形态学边缘检测算法。

八 基因编码分割

基于基因编码的分割方法，把图像背景和目标像素用不同的基因编码来表示。也有一些基于遗传算法的分割方法。

具体算法原理我也不是很了解。

九 小波变换分割

多分辨分析被引入到图像分割中。将原始图像变换为不同分辨率的图像，然后在粗分辨率的图像直方图中确定分割区域的类数，之后求出最优阈值来进行分割。因此，也算是一种阈值分割方式，所以小波分割方法也需要依赖于对原始图像进行平滑处理。

小波分析在工程上很火的那些年倒是有不少相关成果，而现在用小波做分割的人也不是很多了。相比于深度学习方法，大部分传统方法都有很多局限性，所以经常会被用在某些特定场景中使用。

十 基于图论的分割

基于图论的分割算法将图的最小分割问题应用于图像分割领域。该算法将图映射为带权的无向图，然后通过移除特定的边，将整张图分割为若干子图。

目前主要算法有 Graph Cut（最小化能量函数法）、Grab Cut（对 Graph Cut 的改进，迭代的图切割）和 One Cut（对 Grab Cut 的改进，一次性图切割，效果优于 Grab Cut）等。

十一 超像素分割

通过将图像分割为更大的像素，来更好地执行下一步分割任务：

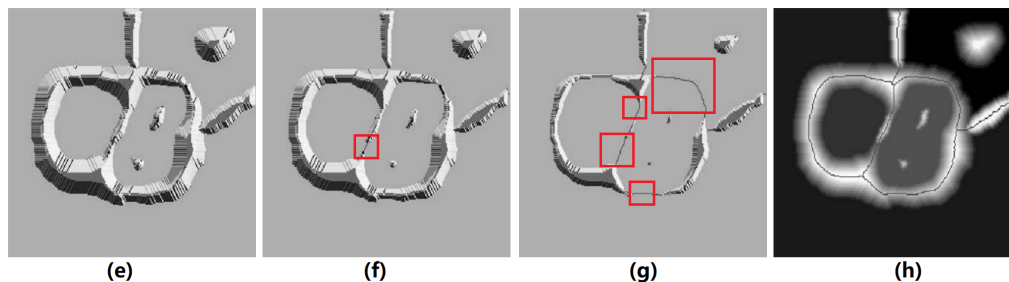


图 9: 超像素分割。

十二 基于深度学习的分割

基于深度学习的分割算法是现在的研究热点，其实现在很多人在研究图像分割时，会直接跳过传统方法，直接通过标注的方式训练神经网络。

很多神经网络模型，例如 Faster RCNN、Deep Mask 以及 Mask RCNN 等在语义分割和实例分割领域发挥着重要作用，也取得了很不错的成绩。

参考文献

- [1] Hafiz A M, Bhat G M. A survey on instance segmentation: state of the art[J]. International journal of multimedia information retrieval, 2020, 9(3): 171-189.
- [2] 陈杏, 李军. 基于图论的分割算法研究综述 [J]. 计算机与数字工程, 2016, 44(10):5.