

图像二值化技术的研究

江 明,刘 辉,黄 欢

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650051)

摘 要:图像二值化技术的应用中比较突出的问题是如何确定合理的门限来达到较理想的二值化效果。介绍了当前几种较为流行的二值化处理技术和确定门限、阈值的算法,并对这些技术和算法的效果进行了测试与比较。

关键词:数字图像,二值化,阈值

中图分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1672-7800(2009)04-0175-03

0 前言

图像二值化是图像处理中一个非常活跃的分支,其应用领域非常广泛,特别是在图像信息压缩、边缘提取和形状分析等方面起着重要作用,成为其处理过程中的一个基本手段。在传真技术领域里,文件传真机送的是具有黑白二值信息的文字和图表。在图像相关方面,用二值图像进行相关比用灰度级图像进行相关有更好的相关性能和去噪作用。在用硬件实现时可避免乘法运算,从而提高硬件系统的速度和降低成本。在图像的符号匹配方面,二值图像比灰度级图像更适合于用符号来表达。二值图既保留了原始图像的主要特征,又使信息量得到了极大的压缩。

1 图像的预处理

在进行图像二值化操作前要对图像进行预处理,包括彩色图像灰化和增强。由于选取阈值需要参照直方图,因此在图像进行处理后,我们再获取图像的直方图以帮助选取阈值。整个流程如图 1 所示。

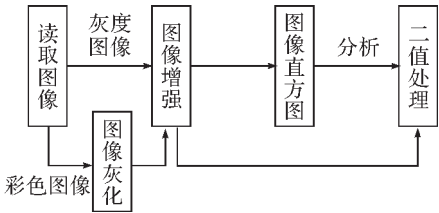


图 1 流程图

2 几种二值化算法

2.1 固定门限二值化方法

在最初的图像二值化中,大都采用固定门限二值化方法,

其特点是简便容易想到。对具有双峰直方图的图像是适宜的,在两曲线的谷点处,我们取其对应的灰度级 T 作为门限,设 $u(i,j)$ 为扫描点上二值化图像的灰度值,则

$$u(i,j)=\begin{cases} 1 & u(i,j)\geq T \\ 0 & u(i,j)<T \end{cases} \quad (1)$$

具有双峰直方图的图像,经上述二值化算法后,物体灰度级全为 1,背景灰度级全为 0(忽略直方图曲线的重叠部分),以达到了物体与背景分离和信息压缩的目的。

图 2 所示为一幅具有双峰直方图的图像。可以看出该图像的直方图具有明显的双峰,因此我们选取谷底的某一灰度作为阈值进行二值化,得到了二值化图像(图 2-C)。但是从图中可以看出实际上仍然产生了信息的丢失,内圈的锯齿状边缘没有显示出来。

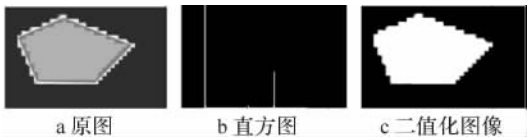


图 2 对具有双峰直方图的图进行二值化

图 3 所示为标准 Lena 图像,其直方图并不具有明显的双峰。因此不能像图 2 那样选取谷底灰度作为阈值,所以用固定门限的方法在这张图像上无法确定最佳阈值,即失效。

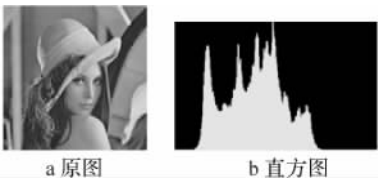


图 3 标准 Lena 图及其直方图

因此该算法的缺点是,对于对比度较小的图像会损失边缘信息,对于直方图不是双峰的图像或直方图曲线重叠部分不能忽略,否则会丢失物体或把背景当成物体。

作者简介:江明(1984-),男,湖北武汉人,昆明理工大学硕士研究生,研究方向为计算机图像处理和视频跟踪;刘辉(1969-),男,云南昆明人,昆明理工大学教授、云南省跨世纪后备人才,研究方向为计算机图像处理和视频跟踪;黄欢(1966-),女,贵州遵义人,昆明理工大学副教授,研究方向为图像信号处理。

2.2 Dither 矩阵二值化方法

利用 Ordered Dither 矩阵对图像进行二值化,产生的图像叫 Dithered 图像。从数据量的角度看,这种图像的数据量为通常以 8bit 表示的像素灰度级图像数据量的 1/8。

Ordered Dither 矩阵的各元素值成等差数列,数值相邻的元素在空间上的平均距离最大,例如一个 4X4 矩阵如下:

$$T_{xy} = \begin{pmatrix} 0 & 8 & 2 & 10 \\ 12 & 4 & 14 & 6 \\ 3 & 11 & 1 & 9 \\ 15 & 7 & 13 & 5 \end{pmatrix} \quad (2)$$

若把图像分成 4x4 的子块,每个子块里的各像素点分别与相应的矩阵元素比较,则构成像素对运算。若像素的灰度值大于或等于矩阵相应的元素值,则比较结果记为 1,否则记为 0;若原始图像具有 256 个灰度级,则需对矩阵元素值进行拉伸。该算法适宜于处理编码图像,缺点是用硬件实现时需增加存储器容量。

这里仍然使用标准 Lena 图像为例来检验其二值化效果,采用的矩阵是 T_{xy} 的扩展矩阵 T'_{xy} :

$$T'_{xy} = \begin{pmatrix} 120 & 128 & 122 & 130 \\ 132 & 124 & 134 & 126 \\ 123 & 131 & 121 & 129 \\ 135 & 127 & 133 & 125 \end{pmatrix} \quad (3)$$



图 4 标准 Lena 图及其 Dither 矩阵二值化图

图 4-b 为处理过后的 Dithered 图像。效果已经很理想,只是部分有渐变的背景没有做出明显的二值化,与前景没有非常明显的区分。

2.3 基本自适应门限二值化方法

不均匀亮度的成像因素会导致本来适合进行有效分割的直方图变成用单一全局门限无法有效分割的直方图。一种处理方法是将图像进一步细分成子图像,对不同的子图像采用不同的门限进行分割。这种方法称为基本自适应门限二值化方法。该方法的关键问题在于如何将图像进行细分和如何为得到的子图像估计门限值。由于用于每个像素的门限取决于像素在子图像中的位置,因此这类门限是自适应的。

这里我们采用图 2 作为例子。由于使用固定门限导致图 2 进行二值化时发生了信息丢失,因此我们采用基本自适应门限

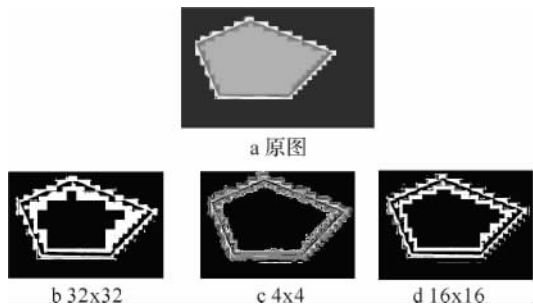


图 5 对图 2 进行基本自适应门限二值化图

二值化方法再来对其进行二值化。

对这幅图像采取了划分子图像的方法,这里选用了 3 种划分方式,分别划分大小为 32x32, 4x4, 16x16 (像素) 的子图像并选取子图像的平均灰度作为门限进行二值化。图 5-b, 5-c, 5-d 分别显示了选用 3 种子图像格式进行二值化的效果。从图中可以看出,3 种图都保留了图像的信息,其效果明显好于图 2-c。而三幅图中,图 2-d 效果最好,即对于此图像来说,选用 16x16 的子图像能达到最好的效果。

3 确定门限与阈值的方法

3.1 基本全局门限

基本全局门限是对固定门限的一个扩展。它以直方图的视觉检测为基础,通过一种试探性方法自动的获取阈值 T 。其基本方法如下:①选择一个 T 的初始估计值 T' (例如图像的平均灰度);②用 T 分割图像。这样会生成两组像素: G_1 由所有灰度大于 T 的像素组成; G_2 由所有灰度小于或等于 T 的像素组成;③对 G_1 和 G_2 中的所有像素计算平均灰度值和;④计算新的门限值: $T' = 1/2(\mu_1 + \mu_2)$;⑤重复步骤②到④,直到逐次迭代所得到的 T' 与 T 的差小于事先定义参数 T_0 。

当有理由认为背景和对象在图像中占据的面积相似时,则好的 T 的初始值就是图像的平均灰度。如果想素所占的面积小于背景,则一个像素组在直方图中占据主要地位,这时平均灰度值就不是好的初始选择。此时更适合选择灰度的中间值作为初始值。参数 T_0 用于在参数 T 变得很小的时候停止算法的运行,这个参数在迭代速度比较重要的时候应用。

这里依然选择 Lena 图作为例子。初始 T 取图像的平均灰度, T_0 取 0.10。



图 6 标准 Lena 图及使用基本全局门限进行二值化后的图像
图 6-B 为二值化后的图像。

3.2 OTSU 自适应门限

OTSU 又称为最大类间方差,是由日本学者大津(Otsu)在 1979 年提出,是一种自适应的阈值确定方法,又叫大津法。

Otsu 算法的基本思想是:对图像 Image,记 T 为前景与背景的分割阈值,前景点数占图像比例为 W_0 ,平均灰度为 U_0 ;背景点数占图像比例为 W_1 ,平均灰度为 U_1 。则图像的总平均灰度为:

$$U = W_0 \times U_0 + W_1 \times U_1 \quad (4)$$

从最小灰度值到最大灰度值遍历 T ,当 T 使得:

$$G = W_0 \times (U_0 - U)^2 + W_1 \times (U_1 - U)^2 \quad (5)$$

取最大时 T 即为分割的最佳阈值。

对 Otsu 法可作如下理解:该式实际上就是类间方差值,阈值 T 分割出的前景和背景两部分构成了整幅图像,而前景取值

U_0 , 概率为 W_0 , 背景取值 U_1 , 概率为 W_1 , 总均值为 U , 根据方差的定义即得该式。因方差是灰度分布均匀性的一种度量, 方差值越大, 说明构成图像的两部分差别越大, 当部分目标错分为背景或部分背景错分为目标都会导致两部分差别变小, 因此使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。

这里继续使用 Lena 图作为例子, 图 7-b 即为使用 OTSU 法进行二值化后的效果。可以看出与图 6-b 效果相似, 前景背景区分明显, 可以说这个已经是二值化的理想状态。



a 原图 b 二值处理图像

图7 标准 Lena 图及使用 OTSU 自适应门限进行二值化后的图像

4 各算法分析

本文共提到 5 种二值化算法, 其中 3 种是直接针对二值化, 另外 2 种则针对确定阈值。5 种方法各有优势, 又各有其不足之处。

固定门限二值化方法, 实际上是二值化方法中最基本的算法。文中的 2 种确定阈值的算法虽然重点在确定门限, 但在最后进行二值化时依然是使用了固定门限的方法对图像二值化。固定门限算法主要针对具有双峰直方图的图像(图 2-b), 而对于不具有明显双峰的直方图则无法用这个算法确定最佳阈值。并且有的时候会产生信息丢失。

Dither 矩阵二值化方法则是通过将图像与一个判断矩阵(Dither 矩阵)进行对比来进行二值化, 可以说是固定门限算法的改进。固定门限算法的门限对于每个像素而言都是一定的, 而 Dither 矩阵二值化方法中, 像素对应的阈值则来自判断矩阵的对应位置。该算法适宜于处理编码图像, 缺点是用硬件实现时需增加存储容量。同时, 确定一个好的判断矩阵也是一个关键问题。

基本自适应门限二值化方法的核心是将图像划分为更小的子图像, 然后再根据子图像的像素信息来确定各像素对应的阈值。其优点是对一些背景前景区分不明显的图像能有好的效果(图 5), 并且不会产生较大的信息丢失。如图 5-d 所示, 其处理效果明显好于固定门限二值化方法(图 2-b), 没有发生信息

丢失的现象。

基本全局门限是通过迭代的方法来确定图像的最佳阈值。关键在于确定初始灰度值, 选择不同的初始灰度也会产生不一样的二值化图像。

图 8 所示 3 幅图像则是分别采取 $T=109$, $T=127$, $T=155$ 三种初始值对 Lena 进行基本全局门限二值化后的图像。可以看出效果都不一样。因此要获得最佳效果, 必须要考虑选择一个好的初始 T 值。另外使用迭代法虽然能得到很精确的阈值, 但是也占用了大量的时间, 即时间复杂度比较高, 效率较其他算法低。

OTSU 大津法则是二值化算法中的一个经典算法。OTSU 算法可以说是自适应计算单阈值(用来转换灰度图像为二值图像)的简单高效方法。大津法选取出来的阈值非常理想, 对各种情况的表现都较为良好。虽然它在很多情况下都不是最佳的分割, 但分割质量通常都有一定的保障, 可以说是最稳定的分割。OTSU 算法是一种较为通用的分割算法。

图像处理技术发展至今, 虽然没有达到非常完美的程度。但对于二值化这样一个图像分割中非常重要的分支, 可以说已经趋近成熟。文中提到的二值化算法都是很基础但是非常实用的一些算法。还有很多高阶的算法, 都是从这些算法中延伸或者改进而来。例如, 文中提出的算法都是基于一维直方图的, 还有基于二维直方图的模糊门限化方法, 基于二维灰度阈值的图像二值化分割算法等一些基于二维直方图的分割方法。限于篇幅不再详细介绍。

相信随着图像处理技术的继续发展, 对二值化图像的要求也会越来越高, 相应的也会产生更多效率更高、效果更好的二值化方法。

参考文献

- [1] 曾迎生. 图像二值化研究及其改进[J]. 研究与开发, 1990(1).
- [2] 刘爽. 图像分割中阈值选取方法的研究及其算法实现[J]. 电脑知识与技术, 2005(7).
- [3] 胡超群. 一种新的动态二值化算法[J]. 计算机应用与软件, 1998(1).
- [4] 白炎. 一种动态门限图像二值化技术[J]. 计算机应用研究, 1992(6).
- [5] 王勇智. 数字图像的二值化处理技术探究[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2005(1).
- [6] 杨治平. 基于自适应多阈值变换编码的图像二值化处理[J]. 重庆师范学院学报(自然科学版), 2001(3).
- [7] 陆乃将. 两种图像二值化方法[J]. 通讯与计算机, 1990(1).
- [8] 高雁飞, 范九伦. 一种新的灰度图像阈值分割方法[J]. 西安邮电学院学报, 2002(1).
- [9] 姚敏. 一种用于文字图像识别的二值化算法[J]. 计算机时代, 1989(1).
- [10] 王坤明, 朱双东, 张超. 自动选取阈值方法比较研究[J]. 抚顺石油学院学报, 2002(2).

(责任编辑: 杜能刚)



a T=109

b T=127

c T=155

图8 标准 Lena 图采用 3 种初始 T 值进行基本全局门限算法进行二值化后的图像