第 5 卷(A 版)　第 6 期
2000 年 6 月

中国图象图形学报
Journal of Image and Graphics

Vol. 5(A), No. 6
Jun. 2000

图象阈值选取方法的构造

付忠良
(中国科学院成都计算机应用研究所, 成都　610041)

摘　要　阈值选取是图象处理与分析问题的基础,如何才能正确地找到适当的阈值,是一个古老而重要的问题.目前已有的若干阈值选取方法并不能适应所有的实际图象,常常需根据具体情况自己构造新的阈值选取方法.通过对一种较通用的阈值选取方法构造模式的讨论,提出了一种解决具体问题时构造阈值选取方法的可行思路,并通过一些常用的已有阈值选取方法和一些新的阈值选取方法的导出,对其有效性进行了验证.通过分析,根据实际图象的具体特点可以构造出更具体的(不一定通用)一些阈值选取方法.

关键词　图象　阈值选取　方法构造

中图法分类号: TP391.41　　**文献标识码**:　　**文章编号**: 1006-8961(2000)06-0466-04

The Making of Method for Image Threshold Selection

FU Zhong-liang
(*Chengdu Institute of Computer Application, Academia Sinica, Chengdu* 610041)

Abstract　Threshold selection is very important for image segmentation. How to get fine threshold is an old, but difficult problem in image processing. We have to make new method for threshold selection in some image analysis because all threshold rule have been put forward for image segmentation can't work well for all images. A pattern about making the method for threshold selection is put forward in this paper. Application in many old methods and some new methods show how to use it to get a new method for threshold selection in practice.

Keywords　Image, Threshold selection, Making of method

0　引　言

利用阈值分割图象是图象处理的基本问题,并在图象分析和识别中起着重要的作用,文献[1]、[2]对已提出的近 50 种阈值选取方法进行了全面的总结.但由于图象处理对象和目的千差万别,在实际工作中常常遇到这样的现象,即一种阈值选取方法对某些应用问题很适用,而对另一些问题可能变得很不适用,因此尽管已提出有数十种阈值选取方法,可在实际应用中还不得不根据具体处理对象引入新的阈值选取方法.以往许多有关文章中介绍的阈值选取方法,都是根据其所处理的具体特殊对象特点而提出的一种新的或改进的阈值选取方法,然后用处理结果图片验证其有效性,但这样的阈值选取方法一般不具有通用性,若对象和处理目的稍微变化,其结果有可能还不如已有的方法.本文并非也同样以这种模式提出一种新的或改进的阈值选取方法,而旨在讨论一种阈值选取方法的构造思路.按此模式,根据所处理对象具体特点,可以自己构造适合该具体应用对象的阈值选取方法,而且已有的许多阈值选取方法也可按此模式导出.

1　阈值选取方法构造模式

当用阈值来分割目标与背景时,如说某一灰度值 g 是某图象的分割阈值,即是说小于 g 的灰度点将构成目标(不妨如此假设),而大于 g 的灰度点就

收稿日期: 1999-05-17; 改回日期: 1999-11-05

构成背景, 因此一种阈值选取方法即是按一定的方法求出满足某种条件的灰度值 g, 而认定 g 可以作为图象的一个阈值, 即是承认满足这个条件的灰度值即可以作为阈值, 因此该条件便成为图象阈值的一个充分条件, 由此自然想到可利用阈值的各个充分条件来构造阈值选取方法. 如果满足某个条件的灰度值 g 可以作为图象的一个阈值, 那么按照此条件求出 g, 即形成一种求取阈值的方法. 由于直接寻求阈值的充分条件常常无从着手, 因此常采取的措施是先寻找阈值所具有的一系列性质, 或者说寻找阈值 g 所具有的一系列必要条件. 若能选取最能反映其本质的一些性质, 即可近似地作为其充分条件的性质, 再求出满足此条件的灰度值, 也就求出了图象的一个阈值. 显然这种条件越充分, 求出的阈值就越真实. 于是寻找阈值选取方法就转变为分析阈值所具有的性质, 根据通用性质构造的阈值选取方法将具有通用性, 而在具体问题中, 根据问题的特殊性而构造的阈值选取方法就仅适用于该具体图象.

2　一些具体阈值选取方法的构造

按照上面介绍的阈值选取方法的构造思路, 首先来看看目前常用的一些阈值选取方法是根据阈值的哪些性质导出的.

对一般的图象而言, 如果灰度值 g 可作为图象的一个阈值, 那么它所具有的一些带共性的性质(即满足的必要条件) 可以有许多, 下面是一些典型的性质(条件):

① 如果 g 为阈值, 小于 g 的点将构成目标全部;

② 阈值 g 将介于目标灰度与背景灰度之间;

③ 如果 g 为阈值, 分割出的背景与目标点占多数, 而灰度值近似为 g 的点(边界点) 应是少数;

④ 如果 g 为阈值, 分割出的背景与目标各自应该都较均匀, 换句话说, 两者未混分, 即目标未分为背景, 背景未分为目标;

⑤ 如果 g 为阈值, 其将把目标与背景彻底分开, 或者说目标与背景两部分差距很大;

⑥ 如果 g 是阈值, 该值将处于图象边缘点处, 且边缘点处灰度值跃变将很大;

⑦ 灰度值近似为 g 的点(边界点) 将构成目标的边界点, 因而是封闭体.

根据阈值所具有的这些性质所构造的阈值选取方法可以有:

(1) 根据条件①, 小于 g 的点构成目标全部, 按此条件求阈值, 即 P-tile 方法. 这种方法就是, 如果知道目标在图象中所占的比例为 p, 则只需求 g, 使得小于 g 的灰度点占全图点的比例最接近 p 即可. 具体就是统计灰度值为 $0, 1, \cdots, g$ 的点, 直到累计比例最接近于 p, 即得到所需阈值.

(2) 根据条件②, 满足此条件的灰度值很多, 一般目标与背景处于图象灰度值的两端, 一种简单的阈值选取方法即取最大灰度值代表背景灰度, 取最小灰度代表目标灰度, 如果不偏向任何一边, 可以取二者中间值 g, 即最大灰度值与最小灰度值的平均作为阈值, 于是有以下阈值选取法:

$$g = (\max_{i,j}(f(i,j)) + \min_{i,j}(f(i,j)))/2$$

其中 $f(i,j)$ 为图象 (i,j) 点(象素) 的灰度值.

如果用目标的平均灰度值代表目标灰度, 用背景的平均灰度值代表背景灰度, 则可以由下述阈值法求灰度值 g, 并使得目标与背景的平均灰度值之算术平均最接近灰度值 g, 于是有以下阈值选取法:

$$g = \max_{0 \le t \le m-1} \left| \sum_{i=0}^{t} i p_i \Big/ \sum_{i=0}^{t} p_i + \sum_{i=t+1}^{m-1} i p_i \Big/ \sum_{i=t+1}^{m-1} p_i - 2t \right|$$

其中 p_i 为灰度值为 i 的点占全图点的比例, m 为最大灰度级.

(3) 根据条件③, 即图象中等于 g 的点占少数. 如果不考虑杂散的干扰与噪点, 该条件即是说将点数最少的灰度值作为阈值, 这正是很常用的灰度直方图波谷法, 波谷法的实质就是说, 背景点与目标点占多数, 而靠近阈值的边界点最少(处于灰度直方图的波谷).

根据条件③, 灰度值靠近阈值的点很少, 其它点很多, 即灰度值为 g 的点在图象中所占比例 p_g 很小, 也即, $1/p_g$ 很大, 因此可用以 $1/p_i$ 为权系数的灰度加权平均值作为阈值

$$g = \frac{\sum_{p_i \ne 0} i/p_i}{\sum_{p_i \ne 0} 1/p_i}$$

(4) 根据条件④, 如果均匀性用方差来度量, 可以轻松地导出求阈值的最小类内方差法.

若目标与背景都较均匀, 即阈值 g 分割出的两部分方差都很小, 由于必须使两部分的方差都小, 那么其方差和也最小, 再考虑到两部分各自所占比例, 用加权方差和应更合理, 于是有以下阈值选取法

$$g = \min_{0 \le t \le m-1} \left| \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \right|$$

其中:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^{t} p_i; \qquad \omega_1 = \sum_{i=t+1}^{m-1} p_i;$$

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^{t} |i - \mu_0|^2 p_i / \omega_0;$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{m-1} |i - \mu_1|^2 p_i / \omega_1$$

式中, μ_0 为目标灰度均值, μ_1 为背景灰度均值:

$$\mu_0 = \frac{\sum_{i=0}^{t} i p_i}{\sum_{i=0}^{t} p_i}, \quad \mu_1 = \frac{\sum_{i=t+1}^{m-1} i p_i}{\sum_{i=t+1}^{m-1} p_i}$$

此即最小类内方差法.

因为熵也属于一种均匀性度量, 均匀性用熵来度量时, 则可以导出最大熵阈值法(KSW 熵法):

设 t 为阈值, 目标灰度分布为 $p_0/P_t, p_1/P_t, \cdots, p_t/P_t$

其中, $P_t = \sum_{i=0}^{t} p_i$ (此即 ω_0, 不直接用 ω_0 是为了与其它书上介绍的此法一致)

同样, 背景灰度分布

$$p_{t+1}/(1 - P_t), \cdots, p_{m-1}/(1 - P_t)$$

目标部分熵为: $-\sum_{i=0}^{t} \frac{p_i}{P_t} \ln \frac{p_i}{P_t}$

背景部分熵为: $-\sum_{i=t+1}^{m-1} \frac{p_i}{(1-P_t)} \ln \frac{p_i}{(1-P_t)}$

两部分皆均匀, 即是说两部分熵之和最大, 于是得到以下阈值选取法

$$g = \max_{0 \le t \le m-1} \left| -\sum_{i=0}^{t} \frac{p_i}{P_t} \ln \frac{p_i}{P_t} - \sum_{i=t+1}^{m-1} \frac{p_i}{(1-P_t)} \ln \frac{p_i}{(1-P_t)} \right|$$

(5) 根据条件⑤, 阈值 g 分割出来的两部分差距大. 当把目标和背景看成全图的两部分, 目标部分取值 μ_0(灰度均值), 概率为 ω_0, 背景部分取值 μ_1(灰度均值), 概率为 ω_1, 则全图灰度均值为 $\mu = \omega_0\mu_0 + \omega_1\mu_1$, 其方差值可以作为两部分是否分得很开的一种度量(即较少的交叠错分). 根据方差的定义, 于是得到以下阈值选取法

$$g = \max_{0 \le t \le m-1} \left| \omega_0(\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu)^2 \right|$$

此即是最常用的求取阈值的最大类间方差法.

(6) 根据条件⑥, 若 g 是阈值, 则图象上灰度值为 g 的点的附近灰度值变化将很大, 如果用邻域梯度来度量灰度值的跃变, 则灰度值为 g 的点处的梯度值将很大. 但由于噪声的梯度也很大, 因此用梯度最大点的灰度作为阈值可能失效, 可是, 既然有条件⑥那样的结论, 至少梯度越大点的灰度值是阈值的可能性越大, 因此自然想到用梯度作权系数进行加权平均来产生阈值的方法, 即

$$g = \sum_{i,j} f(i,j) h(i,j)$$

其中 $h(i,j)$ 为图象(i,j)点处的梯度值.

这正是求取阈值的梯度强度法[3], 有时也称之为简单统计法.

(7) 根据条件⑦, 边界点将构成封闭线, 于是图象上任一点, 如果是边界点(比如梯度值很大), 则一定在其 8 邻域内也有一边界点, 而且该点的梯度也应较大, 并且这两点的梯度方向一致, 即其夹角应小于或等于 $\pi/2$, 文献[4]的算法, 实际上就是根据这一阈值特点而提出的.

3 一些新的阈值选取方法

上面按照图象分割阈值应满足的一些条件导出了许多现有的阈值选取方法, 下面按此模式来导出一些新的阈值选取方法, 所有这些阈值选取方法都经过一些具体图象处理验证, 并且还不乏通用性很强的方法.

(1) 仍采用前面的符号定义, 则 $\mu_1 - g$ 可用来近似地表示背景部分与阈值之间的距离, $g - \mu_0$ 可近似地表示目标与阈值之间的距离, 而目标和背景之间的距离可以用来 $\mu_1 - \mu_0$ 近似地表示, 若只考虑其相对距离时, 可分别用$(\mu_1 - g)/(\mu_1 - \mu_0)$和$(g - \mu_0)/(\mu_1 - \mu_0)$来表示. 根据条件②, 阈值介于$[\mu_0, \mu_1]$之间, 如果希望阈值尽量居于中间, 即两者相对距离尽量地相等. 由于注意到$(\mu_1 - g)/(\mu_1 - \mu_0) + (g - \mu_0)/(\mu_1 - \mu_0) = 1$, 而对于两个数之和恒为 1 的两个数, 若使其积最大时, 正好是二数最接近(都等于 1/2), 因此使两个相对距离之积最大时的分割阈值应是两个相对距离最接近的一种分割, 于是得到以下阈值选取法

$$g = \max_{0 \le t \le m-1} \left| (\mu_1 - g)(g - \mu_0)/(\mu_1 - \mu_0)^2 \right|$$

经过许多实际图象验证, 该阈值选取方法是一个通用性很强的方法, 在许多应用问题中, 可代替最常用的阈值选取法, 如最大类间方差法、最大熵法、矩量保持法, 而且还具有其自身的许多特点, 如可适应目标比例变化大和均匀噪声干扰严重的图象等.

(2) 前面根据条件④导出了最小类内方差法, 在那里, 均匀性是用方差来衡量的, 实际上, 图象的总梯度值(各点梯度之和)也可以用来衡量图象灰度分布的均匀性, 因此, 类似导出最小类内方差法的分析, 用总梯度代替方差便得到以下阈值选取方法

$$g = \min_{0\le t\le m-1}\left|\omega_0\sum_{f(i,j)\le t}h(i,j) + \omega_1\sum_{f(i,j)>t}h(i,j)\right|$$

实际应用时, 梯度常用 Sobel 梯度和 Roberts 梯度. 经许多图象验证表明, 该方法对某些图象比最小类内方差法好.

(3) 梯度反映了图象灰度值的跃变情况, 从均匀性考虑, 邻域方差也能很好地反映出图象的均匀性, 因此类似上面的分析, 总梯度用总邻域方差来代替便有如下阈值选取方法

$$g = \min_{0\le t\le m-1}\left|\omega_0\sum_{f(i,j)\le t}\sigma(i,j) + \omega_1\sum_{f(i,j)>t}\sigma(i,j)\right|$$

其中 $\sigma(i,j)$ 为图象 (i,j) 点处的邻域方差, 实际选取中一般取 4 邻域或 8 邻域.

(4) 图象的总邻域和总方差都能反映图象的均匀性, 因为导出上面两种阈值选取方法的出发点是首先考虑分割出的两部分都较均匀, 再考虑到各自所占的比例, 于是取其总梯度(或总邻域方差)加权和最小时的分割值作为阈值; 而希望分割出的两部分都均匀的另一出发点, 即是希望两部分一样的均匀. 由于注意到两部分的总梯度和总邻域方差之和是一个不随分割阈值变化, 而只依赖于原始图象的常数, 因此类似前面的分析, 在取二者之积最大时的分割灰度值作为阈值时, 两部分的均匀性将最接近, 于是有如下阈值选取方法

$$g = \min_{0\le t\le m-1}\left|\sum_{h(i,j)\le t}h(i,j) * \sum_{f(i,j)>t}h(i,j)\right|$$

$$g = \min_{0\le t\le m-1}\left|\sum_{f(i,j)\le t}\sigma(i,j) * \sum_{f(i,j)>t}\sigma(i,j)\right|$$

(5) 由于邻域方差可以象梯度一样反映图象灰度的跃变, 根据条件⑦已有的梯度强度阈值选取法, 类似地可以有如下邻域方差强度阈值选取方法:

$$g = \sum_{0\le t\le m-1} f(i,j)\sigma(i,j)$$

4 结束语

以上仅仅罗列了阈值 g 应满足的部分必要条件, 从中导出了许多已有的阈值选取方法和一些新的阈值选取方法, 显然在具体的问题中, 根据处理对象的特殊性, 还可以有具体的、更接近充分条件的性质, 按文中模式, 可以构造出更具体的(不一定通用)阈值选取方法来满足所处理问题的需要. 本文仅旨在指出构造阈值选取方法的一种思路, 希望能对实际工作者有一定帮助. 一旦已有的阈值选取方法不太适合时, 不妨根据自己所处理问题的特殊性, 分析分割阈值所应具有的一些突出特点, 来构造适合自己具体问题需要的阈值选取方法.

参 考 文 献

1 吴一全, 朱兆达. 图象处理中阈值选取方法 30 年(1962—1992)的进展(一). 数据采集与处理, 1993, 8(3): 193~ 201.
2 吴一全, 朱兆达. 图象处理中阈值选取方法 30 年(1962—1992)的进展(二). 数据采集与处理, 1993, 8(4): 268~ 277.
3 李立源, 陈维南. 一种鲁棒的完全确定型的快速阈值化方法. 模式识别与人工智能, 1993, 6(3): 225~ 241.
4 余新平, 朱立. 一种具有抗噪声干扰的图象边缘提取算法的研究. 电子技术应用, 1999, 25(1): 9~ 10.

付忠良　1987 年获理学学士, 1990 年获计算机应用工学硕士学位, 现为中科院成都计算机应用研究所副研究员. 目前从事图象处理与识别项目研制与开发.