

基于形态开闭滤波二值标记和 纹理特征合并的分水岭算法

马丽红¹⁾ 张宇²⁾ 邓健平¹⁾

¹⁾(华南理工大学通信与电子工程系图象与模式识别实验室, 广州 510641)

²⁾(华南理工大学计算机所通信实验室, 广州 510641)

摘要 为了防止分水岭算法过分割问题, 研究了一种基于形态处理和纹理分析的图象分水岭分割方法, 该方法是在分水岭算法的基础上, 首先对形态梯度图象运用形态开闭滤波器组的方法来获得较好的参考图象, 然后将提取的二值化初始分割结果作为区域标记来进行分割。另外, 为了获得整体目标, 还定义了一个基于纹理特征的一致性和对比度的检验准则, 并将其作为区域合并的根据。该方法应用于多个视频序列初始目标分割的结果表明, 形态滤波器组的引入很好地防止了过分割, 并证明基于纹理特征均匀性和对比度的准则对分割区域进行进一步的纹理合并是行之有效的。

关键词 计算机图象处理(520.6040) 图象分割算法 形态开闭滤波 分水岭算法 图象纹理一致性
中图法分类号: TP391.41 TN911.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)01-0077-07

A Target Segmentation Algorithm Based on Opening-Closing Binary Marker on Watersheds and Texture Merging

MA Li-hong¹⁾, ZHANG Yu²⁾, DENG Jian-ping¹⁾

¹⁾(IPPR Lab, Dept. of Communication & Electronic Engineering, South China Univ. Of Tech., 510640)

²⁾(Research Institute of Computer Application, South China Univ. Of Tech., 510640)

Abstract This paper suggested a target segmentation scheme based on morphological processing and texture analysis. Firstly, an opening-closing filter bank performed on the gradient image for watershed segmentation is proposed. The filter bank concerns with eight structure elements, each is selected to represent the allowed neighbor patterns and used to generate a reference image for segmentation. This reference image is more suitable than the gradient one when calculating the watersheds, because its main structures are preserved while pseudo-contours are discarded. Then binary marker extraction is carried out to get initial partition. These region markers mark the relevant objects and backgrounds to act as the minima set of segmentation, the initial object boundaries are finally obtained by computing the watersheds. Secondly, a criterion with respect to the homogeneity and the contrast of textures is defined to merging regions, it weighs the contrast of two neighbor patterns and adapts itself to different sizes of neighbor patterns. Experiments on several video sequences are presented to demonstrate that the morphological filter bank could prevent the result from over-segmentation and the criterion is also validity.

Keywords Computer image processing, Image segmentation, Opening-closing filter, Watersheds, Texture homogeneity

0 引 言

图象分割是图象、视频处理领域的一个活跃课

题,它在图象识别中是获得目标的基础;在形状自适应编码技术中,它也是一个举足轻重的部分,由于它是对视频目标进行操作,因此为下一代编码提供了很大的灵活性;在极低码率编码中,分割的性能更关

系到视觉质量的改善程度。

由于常用的分割方法所依据的特征是图象或其变换呈现的区域属性,因此可以单纯根据像元点灰度特征,用直方图来对图象进行分割,也可以考虑图象的邻域特性,用纹理分析方法来进行分割^[1]。其选择特征的关键是确定不同区域的分割点。由于不同目标在相邻接处的变化往往比区域内像素间的差异要大得多,因而梯度图象能够刻画出目标的大部分边界,也就是说,只要对边界内的区域进行填充,便可获得不同的图象目标,分水岭算法正是这一假设的产物。它把梯度图象作为分割参考图象,将梯度值较小的区域内部点看成是一个聚水盆,而将梯度值较大的目标边界点作为山脊;当水淹没盆地时,山脊下的低梯度点逐渐连成一片,水到达梯度极值点时,保留山脊线,两个盆地的水相遇之处也保留,这样,保留点就把图象围成一个一个的盆地,之后对各盆地用不同的值填充,便得到不同的目标区域。不过,这一方法存在两点不完善的地方:第1个缺陷是它的分割性能取决于参考图象,如果参考图象能够保留所有区域的边界,同时又压抑区域内部的伪边界,那么分水岭算法的分割成功是顺理成章的事,但事实上,不管用什么方法获得图象的梯度,其区域内部的伪边界都是可能存在的,而不同目标之间也可能由于获取图象时的光照、角度等原因而失去边界,并由此而造成误分割或过分割,如果不用梯度图象作为参考图象,而改用经过LOG算子或其他高斯型滤波处理后得到的图象作为参考帧,虽然可以得到比较大块的区域,但也会产生可观的位置偏移,加上图象获取的原因,误分割同样存在,所以有必要对梯度图象做进一步的处理,以获得更好的分割参考图象;缺陷之二是由于图象分割的目的不同,一个大的目标可能是由许多个不同特性的小目标构成的,而用某一种或某几种特征提取的梯度参考图象,并不能判断这些具体的情况,所以对分割后的目标区域要进行相似性检验,以尽可能生成合乎要求的区域。本文针对以上两点,提出一个新的方法:首先,为了加强目标之间的差异,采用形态梯度来产生参考图象;其次,提出用基于开闭滤波的二值化标记方法做初分割,使其起到连接不同形态大区域,消灭小区域,避免过分分割的效果,并对初分割图象用分水岭算法处理,随后定义了一个基于纹理特征均匀性和对比度的准则,用于对分割区域进行合并。

1 分水岭算法

分水岭算法^[2]可以把图象中围绕区域极小点的像素聚类为一个一个的区域。设想一个拓扑图形表面,如果一滴水滴入这个表面,在重力的作用下,它会沿最陡峭的路径到达极小点,在整个拓扑表面上,沿各自最陡峭路径注入同一个局部极小点或全局极小点的所有点的集合就构成了一个蓄水盆(图1),而划分相邻蓄水盆的地带则成为分水岭。由于分水岭变换把输入图象中的对象与极小点标记相关联,其中的山顶线对应于对象的边界,因此对图象实施分水岭变换可以把图象分割成各个对象区域。

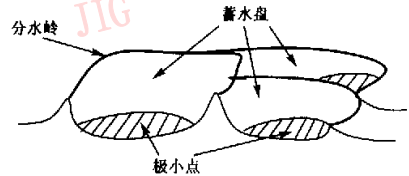


图1 拓扑表面上的极小点、蓄水盆和分水岭

分水岭变换有多种实现方法,较典型的有基于标记的分水岭变换^[2]和欧几里德距离映射法^[3]。其中,基于标记的分水岭变换从参考图象的全局极小值点开始,假定当前值为 $h+1$,每个极小值小于或等于 h 的蓄水盆会被分配一个唯一标记,对当前值为 $h+1$ 的像素,若其邻域有已经标记过的像素,则给它分配相同标记,若周围没有一个像素是标记过的,就认为是一个新的蓄水盆,并给它分配一个新标记,反复进行标记,直到图象中的每一个像素都归类到某个蓄水盆,即属于某个对象区域为止,分水岭变换则告完成,该算法采用具有不同优先级的队列和先进先出的数据结构来实现,其优先级由像素取值决定,同优先级的像素,先放入队列的先处理,不同优先级的像素,高优先级的像素优先处理。处理时,先对极小值点的梯度值,按大小排序后放入队列中,其中,低梯度值对应于高优先级,然后依次从队列中取出一个种子像素,同时判断其相邻像素是否已标记,如果没有标记,则置为与该种子像素同样的标记,并按该相邻像素的值放入对应的优先级队列中,如果已标记,则不做处理,如此处理,直至所有的队列为空止,即得到对于参考图象的区域表示,再将所有的区域边界像素取出,就得到空间分割结果,但这种方法对运算速度和存储能力都有一定的要求;后

一种欧几里德距离映射法是通过腐蚀二值图象,即通过计算各像素欧几里德距离映射(Euclidean Distance Maps, EDM)来生成 EDM 图象,并以此作为拓扑表面,再通过对其像素取值作判断来获得分割结果. EDM 从最亮值开始,迭代递减至 1,重复运算直至除边界线外所有的像素都填充为止.用上述方法实现初始分割时,需要首先划分出了几块大的区域,由于该方法避免了在某个大目标内,对目标进行逐层循环腐蚀,因而在速度和存储上十分有效.本文中分水岭算法是采用 Pierre Soille 提供的 FIFO 算法结构,因为它综合了上述两种方法的优点,算法伪代码详见文献[3].

2 形态开闭滤波和形态梯度

数学形态学已经广泛应用于图象分析中. 本文应用形态算子的目的是为了利用它来提取图象的结构. 根据图象的子图结构挑选一组已知形状的算子来构成结构元素集,然后选择合适的图象变换,就可以预测和得到需要的结果. 实际上,形态学处理最基本的问题就在于算子的选择,而何时使用这些算子以及在多大的范围内使用它们,则决定了分析结果的好坏. 本文采用形态梯度算子来产生基础参考图象,同时经过形态开闭滤波器组来连接不同形态的结构,以滤除小区域,以便得到较好的参考图象.

所有的形态分析运算几乎都来源于两种基本的形态操作,也就是腐蚀和膨胀运算. 腐蚀操作可以检验给定的结构元素是否跟某字图象结构完全配合,其操作结果表示的是,当结构元素 B 被包含于图象结构 X 时, B 的原点位置 x 的集合;膨胀操作则可以检验给定的结构元素是否击中某种图象结构,它表示的是,当结构元素 B 被 X 击中时, B 的原点位置 x 的集合. 对灰度图象 f 而言,若给定元素 x 在腐蚀图象中的取值,则腐蚀结果等于当结构元素 B 的原点位于 x 处时,由结构元素 B 所确定的窗中的若干元素的最小值;当给定元素 x 在膨胀图象中的取值,则膨胀结果等于当结构元素 B 的原点位于 x 处时,由结构元素 B 所确定的窗中的若干元素的最大值. 即

$$[\varepsilon_B(f)](x) = \min_{b \in B} f(x+b) \quad (1)$$

$$[\delta_B(f)](x) = \max_{b \in B} f(x+b) \quad (2)$$

其中, ε, δ 分别表示用结构元素 B 对图象 f 进行灰

度腐蚀和膨胀的操作.

形态梯度定义为被结构元素 B 膨胀与腐蚀的算术差异,它比一般的局部斜率梯度定义更明显地强调了结构元素所定义的邻域内的变化差异. 本文采用梯度图象作为生成参考图象的基础,从通用性考虑,采用的是如下基本的形态梯度算子定义,梯度运算 ρ 表示为

$$\rho_B = \delta_{\tilde{B}} - \varepsilon_B \quad (3)$$

其得到的形态梯度图象强调了变化,不过同时也强调了噪声,由于其很容易造成对目标的过分割,所以需要对其梯度图象作进一步处理,以使同一目标的区域尽可能连成一片,本文用形态开闭运算组合滤波来达到这一目的. 形态开运算是先对图象进行先腐蚀、后膨胀的操作,能起到分割开各个结构的作用. 由结构元素 B 定义的开运算 γ 表示为

$$\gamma_B(f) = \delta_{\tilde{B}}[\varepsilon_B(f)] \quad (4)$$

其中, \tilde{B} 为 B 关于原点的映射. 一般来说,图象被腐蚀后,是不可能用逆变换来获取与原来一样的图象的,但可以通过膨胀运算来尽可能恢复原图. 由于开运算中,首先进行的是腐蚀运算,因此,开运算后,背景中的小结构被清除了,前景结构中的所有不能包含结构算子的部分也被去掉了,但包含算子的大结构仍得到保留. 一个开运算只能保留图象中,与该运算结构元素一致的形状,若要保留不同形状的部分,则需要用一系列的开运算来完成^[2,3]. 根据这一结论,如果用适应不同形状要求的结构元素来构成一个滤波器组,而且该滤波器组的输出采用各个开运算的并集,则图象可以被表达成所需结构元素的并集. 这样,图象在整体通过滤波器后,主干部分得到保留,同时去除了某些不符合结构元素形状的噪声. 滤波器组开运算结果的并集 Ψ 为

$$\Psi = \cup \gamma_{B_i}(f) \quad (5)$$

其中, B_i 表示滤波器组中,适应不同形状要求的多个结构算子.

相反,闭运算 Φ 是通过寻找一个算子来尽可能恢复被膨胀后图象的初始形状,图象经过闭运算后,背景中所有不能包含结构元素的部分均被闭运算填充

$$\Phi_B(f) = \varepsilon_{\tilde{B}}[\delta_B(f)] \quad (6)$$

由于开、闭运算分别具有等价性,即一旦被开/闭运算后,紧接着做下一次开/闭运算就没什么用了,所以本文选择做一次滤波器组开运算和一次滤波器组闭运算,然后再做一次滤波器组膨胀来得到

参考图象. 经过滤波器组开闭运算, 清除了不必要的结构后, 原本连接性不好的结构, 在最后的膨胀操作中, 可以得到改善; 如果连接性已较好, 那么根据分水岭算法的原理, 最后的膨胀并不影响它的分割性能.

依据上述原理, 即可构造一个梯度运算结构元素和一组供开闭滤波器使用的结构元素集. 通常采用方形结构算子 $\begin{bmatrix} \times & \times & \times \\ \times & \times & \times \\ \times & \times & \times \end{bmatrix}$ 作为形态梯度运算结构元素, 因为它具有基本的平坦同致性质, 即不需要加权, 也不失一般性. 在充分考虑各种可能结构后, 开闭运算

滤波器组选用以下 8 种结构元素:

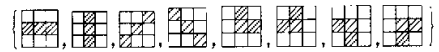


图 2(a) 为 Claire 序列首帧图象, 用梯度结构元素生成的梯度图象为图 2(b), 经过形态开闭滤波器组处理的图象为图 2(c), 比较图 2(b) 与图 2(c), 可见图 2(c) 剔除了细碎结构的影响, 目标的整体性有所改善. 对图 2(b) 与图 2(c) 分别做二值标记 (详见第 3 节) 的结果也可以看出这一点, 图 2(d) 与图 2(e) 分别是图 2(b) 与图 2(c) 二值标记的结果, 图 2(e) 做分水岭填充后得到初步分割结果图 2(f).

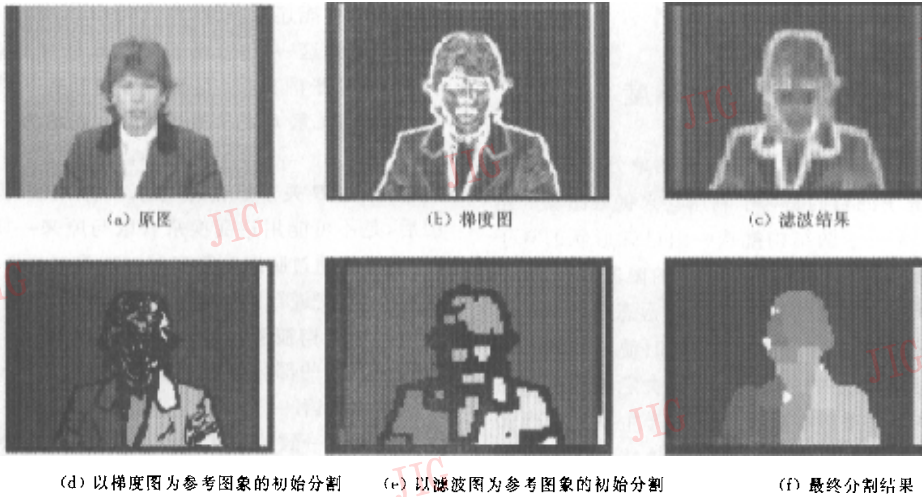


图 2 形态梯度、形态开闭滤波及标记效果比较

3 标记种子提取和分水岭算法

图象分割就是把图象分成一个个有意义的区域, 但它需要知道被识别物体的形状、尺寸、方向、灰度级分布、纹理等方面的先验知识. 当目标区域互不接触, 而又选不到合适的特征表达时, 或者实际特征互相重叠, 或某物体处于另一物体平面之上, 就不能独立地分开目标. 一幅被处理的图象, 如果能够搜索到区域的核心生长点, 并能够检测到边界, 那么它就可以用经典的分水岭算法实施分割.

分水岭算法的原理在引言中已经给出, 它的关键之一是要有一个好的参考图象, 对这一点可用第 2 节的形态开闭滤波器组的处理来保证; 关键之二是实现的速度要快, 而且要避免过分割. 为了达到后一个目标, 本文对开闭滤波的结果做了一个二值标记预处理, 然后将其作为初始分割, 并将所得的分割

结果作为分水岭变换的种子. 初始分割的好处是减少了在目标区域内的无谓操作, 因为经形态开闭滤波器组处理后, 目标区域内的低梯度值仍有可能形成闭合的边界, 所以首先通过做标记来挑选感兴趣的区域, 就不会在伪边界上消耗太多的处理时间和得到过分割的结果.

以开闭滤波器组的处理结果作为分水岭变换的参考图象, 对它做直方图分析 (图 2(c) 的直方图为图 3(a), 其零点分析见图 3(b), 黑色为零点), 由图 3(b) 可以发现, 由于目标内部的灰度值在低端相对集中, 目标交接处的取值主要分布在范围比较广的高端, 因此可用二值化方法分出大致的背景和区域, 然后用 EDM 生长方法^[5], 以不同的取值标记各个独立的背景和区域, 来得到初始分割图象, 初始分割结果见图 4.

以标记的初始区域作为分水岭变换的种子 S , 以开闭滤波结果作为参考图象 f , 则分水岭变换 G



图 3 参考图象的直方图分析

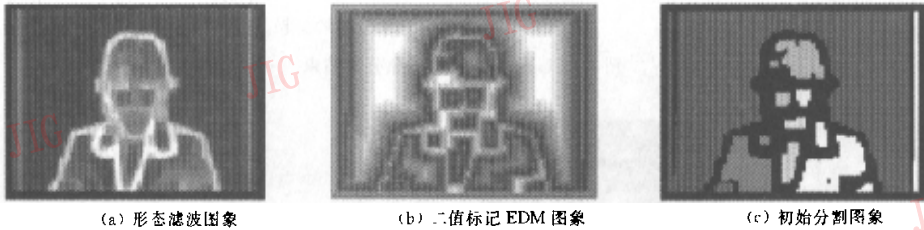


图 4 Claire 图象的初始分割

表示为

$$G(x, y) = WT(f(x, y)), \quad (7)$$

本文中分水岭算法是采用 Pierre Soille 提供的 FIFO 算法结构^[2], 本文不再赘述。

4 纹理一致性和对比度准则

鉴于分水岭算法对图象中细微的变化很敏感, 虽然本文在变换之前已用形态开闭滤波处理, 去掉了一些小的结构, 但还不能完全消除复杂的背景对目标分割的影响, 其原因之一是滤波器组所选的结构元素带有通用性, 数目和大小总是有限的; 二是图象目标的结构有大有小, 当滤波器组的结构元素太多太大时, 会把有用的结构当作噪声去除; 第三是因为在二值标记过程中选取合适的阈值时, 同样存在着保全目标与去除背景噪声的二难问题, 而且什么是所需要的目标, 什么才是背景, 这个问题对不同的处理目的会有不同的定义, 对不同的处理者来说, 期望也总会有些不同。如果已知图象的某些信息, 那么就可以利用先验知识来对分水岭变换得到的分割图象作进一步的合并处理。由于前两节中用作变换的参考图象主要是根据结构元内的灰度变化产生的, 并没有考虑区域的纹理一致性和整个区域灰度的平均值, 所以在区域合并时, 把这两点纳入比较范围是很自然的。

区域目标不一定是以均值亮度的形式来区别于背景的, 因为它很可能是以纹理的方式提供关于区域平滑、稀疏、周期或准周期性的描述。所谓测量一

个目标的纹理, 就是找出区域中像素灰度级的特殊排列特性, 以表示纹理在目标内的有效变化。本文在共生矩阵的基础上, 定义了一个基于纹理一致性 A 和对比度 C 的检验准则, 用于合并分割结果中满足该准则的相邻区域。该准则定义如下

$$W_{A,C} = \sum_{g_1} \sum_{g_2} |g_1 - g_2| p(g_1, g_2) \sqrt{|g_1 - g_2| \times |g_2 - g_1|} \quad (8)$$

其中, $p(g_1, g_2)$ 为共生阵 P 各元素取值, 表示相应位置算子的联合灰度分布, $\sum_{g_1} \sum_{g_2} |g_1 - g_2| p(g_1, g_2)$ 表示算子相应位置上纹理的对比度。当共生阵中, 大的元素接近对角线时, 对比度值较大, 等价于近邻图象反差大的情况。对比度描述虽然考虑了位置算子内的纹理特性, 但由于不同图象纹理准周期不一样, 因此所需位置算子会有差异。如果仅考虑近邻的位置算子, 那么只需要对其对比度作一个加权, 且加权量与各位置相对于目标区域均值的偏差有关, 就能更好地反映纹理在整个区域内的一致性和对比度。 $W_{A,C}$ 值就是这样的一个特性值。

通过计算分水岭变换所得的图象上相邻区域的 $W_{A,C}$ 值来进行区域合并, 若两相邻区域 $W_{A,C}$ 值之差小于阈值 T_w , 则合并为一个区域。阈值 T_w 的确定方法是, 对第 3 节中直方图分析的结果, 用整幅图象的均方差加权之, 因为直方图分析所得的值是最有可能形成区域分界线的梯度值, 而均方差反映的就是像素灰度值相对于均值的绝对偏差。对 3 幅图象分割区域所作的基于 $W_{A,C}$ 值的合并见图 5、图 6 和图 7。从图中可见, 这种基于纹理的合并是有效的。



图5 Claire序列首帧图像分割结果

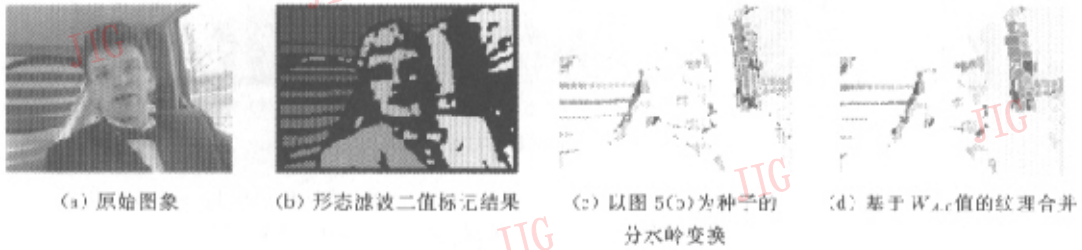


图6 Carphone序列首帧图像分割结果

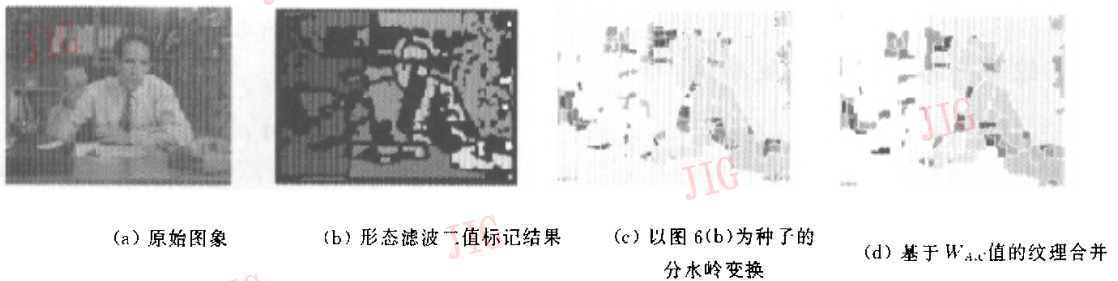


图7 Salesman序列首帧图像分割结果

5 实验结果和讨论

本文研究了基于形态处理和纹理分析的图象分水岭分割方法,即在分水岭算法的基础上,提出用形态开闭滤波二值化方法来提取区域标记,还定义了一个基于纹理特征的一致性和对比度的检验准则,并将其作为区域合并的根据.由12个视频序列首帧图象的分割实验可见,所得结果都比较近似,实验结果的讨论仅以 Claire、Carphone、Salesman 3个序列的首幅图象来说明,它们的背景复杂度由低至高.实验中,对所有序列采用相同的梯度结构元和开闭滤波器组结构元素集.本文采用方形结构算子作为形态梯度结构 $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ 元,开闭运算滤波器组的结构元素集是

$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
 各自的直方图分析结果和检验准则 $W_{A,C}$ 的阈值见表1,共生阵位置算子用对角阵 δ_{11} ,分割结果如图5(d)、图6(d)和图7(d)所示.另外,一般的水分水岭分割算法很容易造成过分割,本文方法得出的分割图象与之比较的结果见图8、图9和图10,图上不同的区域用不同的灰度值表示,区域数目如果超出256个,则只显示256个.由于这个原因,没有经过滤波和合并的 Salesman 的分割数达2 956个(在图10(b))

表1 直方图分析结果和阈值

图象序列	分析结果			
	二值标记 阈值	均值	均方差	检验准则 $W_{A,C}$ 阈值 T_w
Claire	18	96.45	45.69	822.12
Carphone	21	99.41	42.24	867.04
Salesman	17	72.54	28.14	478.38

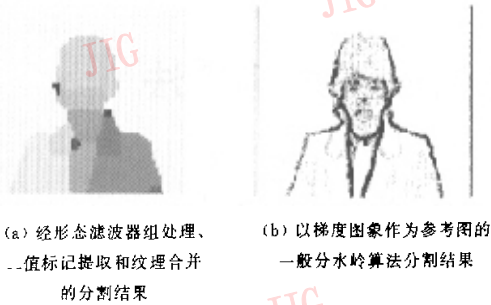


图 8 Claire 图象不同算法分割结果对比

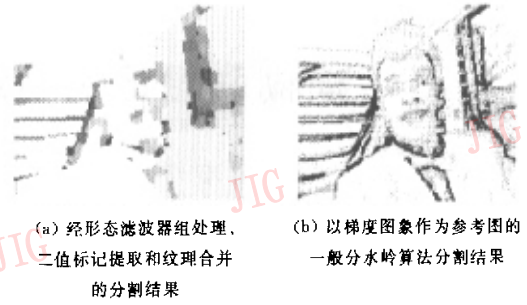


图 9 Carphone 图象不同算法分割结果对比



图 10 Salesman 图象不同算法分割结果对比

中只显示了 256 个), 但已经严重过分割了. 更值得一提的是, 由于做了二值标记预分割, 即把图象初步分成了几个大块, 所以本文方法计算的速度很快, 在 P III 900 上的 VC 平台下, 处理一幅 CIF 或 QCIF 图象, 基本没有什么延迟.

从实验结果可见, 采用形态开、闭滤波器组处理梯度图象, 由于既去掉了结构元素集合所对应的噪声结构, 又不影响两个相邻区域沿边界的精确定位, 因而过分割的情况大大削弱, 且其随后的图象二值标记预处理, 由于标出了感兴趣的区域最小点, 因此不但分割的处理时间加快, 而且避免了分割时大量聚类在区域伪边界上的情况. 另外, 本文定义的纹理合并准则, 从纹理意义上为进一步找寻目标整体提供了一个依据. 由于对合并条件的阈值限制比较严, 虽然本文在复杂背景上, 对同一目标的合并还嫌不够, 但如果对目标只是根据灰度、纹理来定义的话, 那么限制过松, 将会把不同目标的部分区域并在了一起, 因此分割进行到这一步, 笔者认为, 应该引入对目标各组成部分的语义分析, 才可以考虑下一步的合并.

参 考 文 献

- 1 Pal Nikhil R., Pal Sankar K. A review on image segmentation techniques[J]. Pattern Recognition, 1991, 26(9):1277~1294.
- 2 Pierre Soille. Morphological image analysis [M]. Berlin, Springer Verlag, 1998:236~239.
- 3 Ma L., Zhang Y. A skeletonization algorithm based on EDM and modified retinal model[J]. Journal of Electronics (China), 2001, 18(3):272~276.



马丽红 1999 年获华南理工大学通信与信息系统专业博士学位, 主要研究方向为视频传输、图象处理和模式识别.



张宇 高级工程师, 1998 年获华南理工大学通信与信息系统专业博士学位, 主要研究方向为通信网络、多媒体信号处理.



邓健平 2002 年获华南理工大学通信工程专业学士学位, 主要研究方向为信号处理、微波通信.