

文章编号: 1001-2486 (2000) 04-0076-05

分开合并算法的若干讨论和改进*

蔡涛, 王润生

(国防科技大学 ATR 国防科技重点实验室, 湖南长沙 410073)

摘要: 分析了分开合并图像区域分割算法中两个影响处理结果正确性的因素: 区域合并顺序和区域合并谓词。针对这两个因素分别提出了改进的方法, 并给出了具体改进算法。改进算法的实验结果和传统算法结果进行了对比, 结果表明了改进的有效性。

关键词: 图像; 分割; 分开合并; 谓词

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A

Some Discussions and Improvements on Split-and-Merge Algorithm

CAI Tao, WANG Run-sheng

(ATR National Key Laboratory, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Two factors in the split-and-merge image region segmentation algorithm that lead to incorrect segmentation, the merge sequence and merge predication, were analyzed. The corresponding improvements were presented, and the improved algorithm was realized. The effectiveness of the improvements was testified by comparing the results of the improved algorithm with the results of the classic algorithm.

Key words: image; segmentation; split-and-merge; predication

1 分开合并算法概述

区域分割是把图像中的像素按照某种一致性准则划分为内部连通、互不重叠的像素集合的过程^[1]。其处理结果是一系列其他处理, 例如目标识别等的基础。因此, 准确、有效地提取区域是图像理解的一个重要问题。目前文献中常见的区域分割算法包括^[1]: 各种门限化的方法、区域连接生长、分开合并算法等等。

这些方法中, 分开合并算法是一种能够适应复杂图像的算法。标准的分开合并算法有四个处理步骤和三个输入量^[1]。输入量为: 原始图像、初始分割、一致性测量。初始分割把原始图像划分为四分树表示的某一层。四个处理过程为: 合并具有一致性属性的共根四个节点的图像块; 分开不满足一致性要求的图像块; 把相邻的符合一致性属性的图像块编组, 连接成为区域; 消除“奇异区”。“奇异区”是指图像中散乱分布的、小面积的区域。典型的分开合并算法的实现见文献 [2], 其后的各种改进, 主要集中研究在这种处理方式下, 提出各种不同的区域一致性谓词, 例如基于统计检验、模型拟合、边缘信息等等^[1,4,5]。

在处理复杂图像时, 分开合并算法仍然会产生不准确的分割结果。其中对后续处理影响较大的现象主要是: 把本不应该合并的区域合并; 把分别对应不同物体的区域合并为一个区域。例如, 图 1 中 (b), (c), 它们是 (a) 在不同的一致性门限下的分割结果。其中的填充的部分是算法产生的不合适的区域。

这些错误, 有些是由图像本身模式表现的不确定性导致, 有些是算法处理过程中的某些因素引起的。因此, 有必要分析这些因素, 并且采取相应的改进方法。

我们在本文中分析了已有的分开合并算法处理过程中影响处理结果正确性的两个因素: 区域合并顺序与合并谓词, 并提出了我们改进的方法。

* 收稿日期: 2000-01-12

作者简介: 蔡涛 (1972), 男, 博士生。

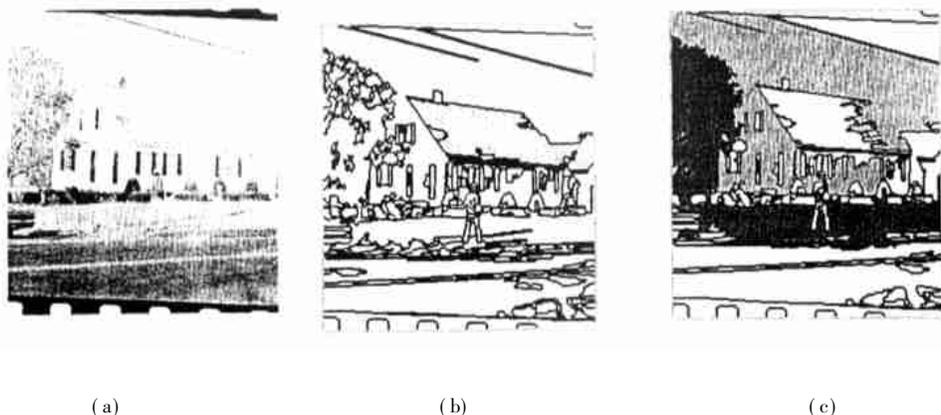


图1 传统分开合并算法所产生的不合适的区域分割结果

Fig. 1 The improper segmentation produced by classic split-and-merge algorithm

2 分开合并算法的分析和改进

首先，我们分析整个算法当中影响分割结果的主要环节。图2是一个分开阶段处理之后的图像块的边界图。从中可见，在分开阶段，只要灰度一致性门限足够小，就可以把图像中能够反映出差别的区域区分开来。而且，这些初始区域如果合适地合并，是能够形成正确的分割结果的。因此可见，影响分割结果的主要因素在其后的合并阶段。

我们通过对分开合并算法处理过程进行分析发现，除了图像本身的复杂性，造成错误分割结果的原因主要有两个：一个是在合并分块和区域的时候，区域合并的顺序引起结果的错误。另一个是合并区域的谓词仅仅从区域的灰度特性出发，不能够适应复杂图像中的各种灰度分布情况，缺少通过对区域几何关系的考虑来确定谓词。这些因素在已有的文献当中没有充分重视，尤其是区域合并的顺序，在各种已有的改进算法中没有讨论。下面具体分析。

区域合并顺序对最后结果的影响可以由图3说明（其中数字为每个区域的平均灰度）。假设合并区域的谓词是：区域的平均灰度差不大于3。如果按照传统的算法，从图左上到右下的顺序来寻找待合并的区域，则由于A、B先合并，导致最后的合并顺序为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ 。这样，则把本来和A之间不满足合并谓词要求的区域C和D合并为A''。而准确的结果应该是A、B'、C。这样的现象称为“过度合并”，它往往给后续的处理，例如识别过程带来很大困难。而好的结果应该保证被合并的每个区域之间的特性都满足一致性要求。

对于这个问题，我们提出多次迭代地合并区域的方法来解决。其具体方法是：对区域的合并搜索顺序，采用全图中搜索，按照灰度门限从小到大，多次合并。每次合并时，从面积最大的区域开始进行，逐步到小区域。采用门限逐渐放大的方法是为了保证相邻区域按照一致性从大到小的顺序合并，从而可以避免因为处理顺序造成的错误。从大区域开始合并，是因为分块后的大区域，内部灰度特性一致、稳定，往往对应于图像中某些目标。由这些区域出发，可以克服图像中不同区域边界处的变化、噪声等现象产生的奇异区对合并结果的影响。

算法实现的伪代码为：

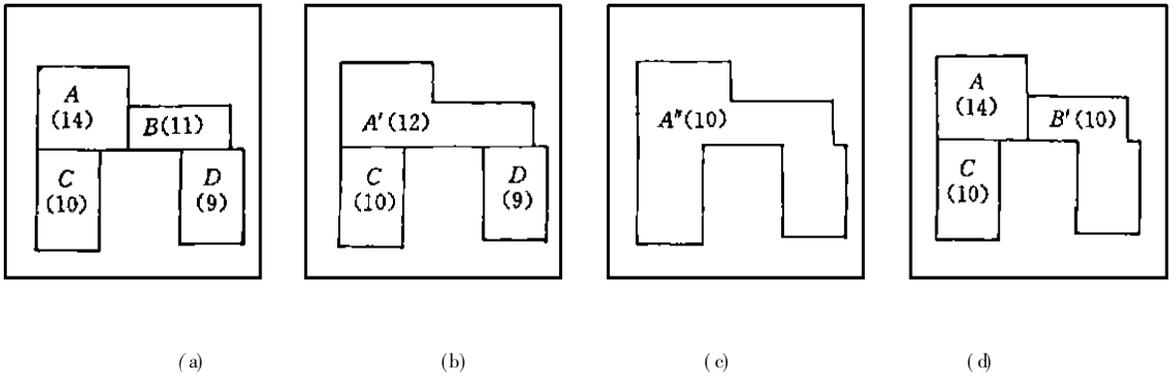
for (平均灰度差别= 1 TO 最大门限)

{ for (区域面积值 = 所有区域的面积最大值 TO 所有区域的面积最小值)



图2 初始分开过程之后的分块边界图像

Fig. 2 Boundary of the blocks after initial split



(a) 为初始的区域, (b)、(c) 为传统合并顺序的过程, (d) 为正确的合并结果

图3 区域合并顺序对结果的影响

(a) initial regions, (b)、(c) classic merging sequence, (d) proper result

Fig. 3 Effect of merge sequence on segmentation result

```

{ for ( 区域 i = 第 1 个区域 TO 最后区域)
  { if ( 区域 i 面积等于 “区域面积值”)
    { 寻找和区域 i 周围所有相邻区域满足合并谓词的 区域, 进行合并
    }
  }
}
}

```

导致合并结果错误的另外一个原因是, 仅仅使用基于灰度信息的各种测量函数作为合并谓词, 不足以适应复杂图像。从图 1 中可以看到, 因为图像中各个部分的区域的灰度差别是不同的, 而合并谓词对整个图像使用同一个灰度门限, 往往会出现顾此失彼的现象: 门限小时, 出现过度分割, 门限大时, 又合并了不该合并的区域, 产生了过度合并。这往往给后续的处理带来困难。因此, 需要引入其他信息来弥补基于灰度的一致性测量函数的不足。文献中已有的对区域的合并谓词的改进, 加入了区域边界性质的判断^[3], 但它仅仅考虑待合并区域的共同边界长度, 没有从整个区域的几何性质来考虑。

由于区域分割的根本目的是把图像分割为和实际目标或目标的一部分对应的区域^[6], 所以, 应该尽量减少过度合并现象。因为, 如果一个目标对应的区域被分成了几个不同的区域, 仍然为进一步的处理过程保留了能够构成目标区域的信息。反之, 如果不同目标对应的区域被合并在一起, 产生错误的结果, 则等于丢失了这些信息。

通过观察可以发现, 由过度合并等原因产生的不正确的区域, 一般表现为形状不规则、大多数情况下几何上是凹的区域。由于大多数目标对应的区域, 尤其人工目标对应的区域是凸的、形状规则的, 而且, 对于非凸的区域, 一般对应于自然景物, 可以由多个凸的区域组合而成, 这样, 仍然可以保留够构成目标区域的信息。因此, 可以在合并过程中利用区域的几何特性和相互几何关系, 尽量保证合并后区域具有凸的、规则的几何形状, 来限制不规则区域的生成, 从而减少过度合并造成的错误结果。

据此, 我们提出: 在合并区域过程中, 面积小的区域, 由于形状描述不准确, 以灰度相似性为主; 面积大的区域, 应该尽量保证合并后的区域和原来的两个区域有相似的灰度和凸的、规则的几何形状, 如果合并以后的区域形状规则程度下降, 则放弃合并。

从这个观点出发, 我们提出的改进的区域合并谓词和处理流程如下:

- (1) 判断这个区域面积是否很小 (实验中规定为小于 5)。
- (2) 如果面积很小, 这个区域和灰度差别最小的相邻区域合并;

否则,

(a) 计算这个区域几何规则程度 M , 它和所有相邻区域的归一化灰度差 $G(i)$ 、归一化共同边界长度 $L(i)$, $i=1, \dots, n$ 。 n 为这个区域相邻的区域数目;

(b) 判断每个相邻区域是否满足合并条件, 从满足合并条件的区域当中选择相似函数 $f_s(i)$ 最大的区域;

(c) 如果这两个区域合并后的区域的几何形状规则程度值 M 小于原来的两个区域的 M 值的最小值, 则不进行合并, 否则合并这两个区域。

(3) 循环执行上述步骤, 直到所有相邻区域被考察, 且不能再和相邻区域合并。

(4) 处理下一个区域。

算法当中各个量的定义如下:

$$f_s(i) = G(i) + L(i) \quad L(i) = \frac{L_{neb}(i)}{L_{all}}$$

$$G(i) = 1 - \frac{|gray(i) - gray|}{256} \quad M = \frac{S}{L_{all}}$$

其中: $gray$ 为所考察区域的平均灰度; $gray(i)$ 为这个区域的第 i 个相邻区域的平均灰度; L_{all} 是所考察区域的周长; $L_{neb}(i)$ 是所考察区域周长中和第 i 个区域的相邻的部分的长度; M 为被考察区域的规则性度量, 这里选为面积周长比; S 为区域面积。

被考察区域和相邻的区域 i 合并条件为:

对于面积小于 T 的区域: $G(i) > G_s$;

对于面积大于 T 的区域: $G(i) > G_b$; $L(i) > L_b$;

其中, T 、 G_s 、 G_b 、 L_b 的选择决定了最终区域图中的区域之间的差别, 是和具体处理的图像和应用目的相关的。在有先验知识的情况下, 可以根据先验知识获得。下面给出一个无先验知识情况下的计算方法。

T 是区分小区域的门限。这里具体定义为图像中区域面积直方图的 0.9 分位数。

G_s 决定了最后输出的小区域和周围区域之间的灰度差别的要求。一般取 0.7~0.8;

G_b 取决于处理当中对区域之间灰度差别要求。一般是和区域面积有关, 面积越大, G_b 越大。在没有先验知识的情况下, 取为区域面积的递增函数。实验中具体为:

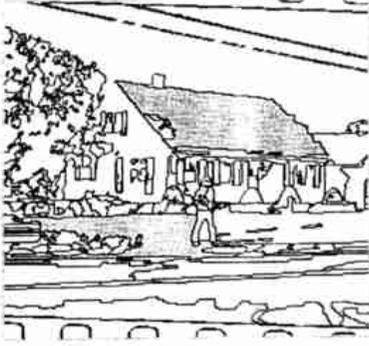
$$G_b = 0.7 + size \frac{0.95 - 0.7}{MaxSize}$$

其中: $size$ 为区域面积; $MaxSize$ 为区域面积最大值。

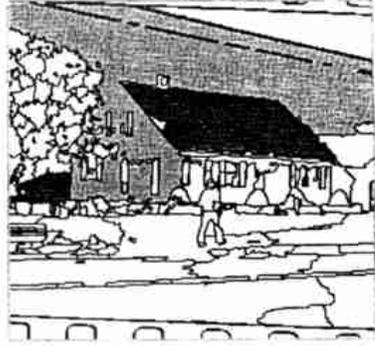
L_b 取决于处理当中对区域之间相邻程度的限制, 这个是为了限制“不规则”区域的生成, 一般可以取 0.2~0.3, 实验中取为 0.3。

3 实验结果

图 4 中列出了改进算法和传统算法的实验结果。图中填充的区域是为了和标准分块合并算法结果的相应区域比较。从图中可见, 改进后算法当中, 分割结果中不适当的分割区域减少了。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

(a)、(b) 是图 1 (a) 使用改进算法在不同参数下的结果; (c) 为原始图像, (d) 为标准分开合并算法结果, (e) 为改进算法的结果。

图 4 实验结果对比

(a)、(b) are results of the improved algorithm with different parameters, (c) is a original image, (d) is the classic result of classic algorithm, (e) is the result of the improved algorithm

Fig 4 Experiment results comparison

参考文献:

- [1] 王润生. 图像理解 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1994.
- [2] Pavlidis T. Structural Pattern Recognition [M]. Springer-Verlag, Berlin/New York, 1977.
- [3] 巴拉德 D H, 布朗 C M. 计算机视觉 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [4] Chen P C, Pavlidis T. Segmentation by Texture Using a Co-Occurrence Matrix and a Split and-Merge Algorithm [J]. CGIP 1979, 10 (2): 172-182.
- [5] Chen S Y, Lin W C, Chen C T. Split-and-Merge Image Segmentation Based on Localized Feature Analysis and Statistical Tests [J]. CVGIP: GMIP, 1991, 53 (5): 457-475.
- [6] Adams R, Bischof L. Seed Region Growing [J]. IEEE Trans. on PAMI 1994, 16 (6): 640-647.