

一种基于数学形态学及融合技术的 彩色图像分割方法

薛河儒¹⁾²⁾ 麻硕士²⁾ 裴喜春¹⁾

¹⁾ (内蒙古农业大学计算机与信息工程学院, 呼和浩特 010018) ²⁾ (内蒙古农业大学机电工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要 提出了一种新的彩色图像分割方法, 该方法首先利用数学形态学在3个2维彩色子空间进行图像分割, 然后将这些分割结果融合在一起得到最终图像的分割。对于RGB彩色图像, 3个子空间分别取为RG、RB和GB。而2维直方图则可看作3维直方图在这3个子空间的投影, 对这3个2维直方图分别实施形态学中的watershed分割算法, 最后通过区域分裂与合并的方法融合这3个2维空间的图像分割结果, 获得最终的图像分割。在计算彩色距离时, 使用了CIE(L*a*b*)彩色空间。该方法比直接在3维空间的分割方法既快又节约内存, 而且分割效果好。

关键词 彩色图像分割 数学形态学 图像融合

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2006)12-1764-04

Color Image Segmentation Based on Mathematical Morphology and Fusion

XUE He-ru¹⁾²⁾, MA Shuo-shi²⁾, PEI Xi-chun¹⁾

¹⁾ (College of Computer and Information Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018)

²⁾ (College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018)

Abstract A novel approach for color image segmentation is studied, which is based on segmentation of subsets of bands using mathematical morphology followed by the fusion of the resulted segmentation "channels". For color images the band subsets are chosen as the RG, RB and GB pairs, whose 2D histograms are processed as projections of a 3D histogram. The segmentation in 2D color spaces is obtained using the watershed algorithm. The final color image segmentations are combined by a region splitting-merging process. CIE(L*a*b*) color space is employed to measure the color distance. The proposed approach results in improved performance and running time.

Keywords color image segmentation, mathematical morphology, image fusion

1 引言

图像分割就是把图像划分为不同图像对象的过程。图像一旦被分割, 就可对每一个被提取的对象进行量化计算, 然而图像分割的准确度直接影响图像对象的测量, 因此, 图像分割是图像分析与模式识别的最关键的部分。

由于彩色图像比灰度图像含有更多的信息, 因而

在许多模式识别与计算机视觉应用中都使用彩色图像来获得更好的效果。由于在3维空间相近的颜色区域将聚为一类, 因此彩色图像分割主要是对于3维直方图进行聚类。但由于其计算量庞大, 因此计算机资源消耗较多, 处理速度慢。例如, 在一个RGB 3维直方图中, 若取各个彩色分量的灰度级为128, 用16位字长(2Byte), 则所需内存为 $128 \times 128 \times 128 \times 2 = 4\text{MB}$ 。而在RG、RB和GB 3个2维直方图中, 若取各个彩色分量灰度级为256, 用16位字长, 则这3

基金项目: 教育部“春晖计划”项目(Z2004-2-15006), 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJ03097)

收稿日期: 2004-05-31 改回日期: 2005-10-17

第一作者简介: 薛河儒(1960~), 男, 教授。1982年毕业于太原理工大学, 现为内蒙古农业大学机电工程学院在职博士研究生。主要研究方向为图像处理、生物特征识别等。E-mail: xuehr@imau.edu.cn

个 2 维直方图共需内存为 $256 \times 256 \times 2 \times 3 = 384\text{KB}$,可见 3 维方法需花费较多的机时。

为了克服 3 维方法的不足 ,一种办法就是把 3 维彩色空间投影到 2 维^[1]甚至 1 维^[2]空间 ,在不同的低维空间分别实施分割。然而由于这些方法普遍存在分割准确度不高的问题 ,为此本文提出了一种新的方法 ,即先将数学形态学的方法^[3~6]分别应用于 RG、RB 和 GB 3 个 2 维彩色空间的图像分割 ,再利用信息融合技术得到最终的图像分割结果。该方法由两部分构成 ,即 3 个 2 维空间的分割及融合。

基于 3 维直方图的方法已有多种 ,其中基于 3 维彩色空间的数学形态学分割法^[3] ,其分割效果很好 ,其主要计算步骤如下 :

- (1) 输入彩色图像 I 。
- (2) 计算 I 的 3 维直方图 $H^0(c)$ 。
- (3) 放大较小类 ,并进行反运算 :

$$H^1(c) = M - \log(1 + H^0(c))$$

其中 $M = \max_c \{\log(1 + H^0(c))\}$ 。

- (4) 使用高斯滤波平滑 3 维直方图 :

$$H^2(c) = \alpha(H^1(c) \sigma)$$

其中 σ 是 3 维直方图的标准误。

- (5) 利用闭运算去掉 $H^2(c)$ 的局部最小值 :

$$H^3(c) = H^2(c) \cdot g$$

其中 g 代表半径为 R 的球体结构元素。

- (6) 利用 watershed 算法分割 ,并标识类 :

$$H^4(c) = W(H^3(c))$$

- (7) 输出在 3 维彩色空间被分割的图像。

2 在 2 维空间的分割

将上面提到的 3 维方法^[3]分别应用到 RG、RB 和 GB 3 个 2 维子空间 ,即每次仅用两个彩色分量来分别进行基于 RG、RB 和 GB 3 个直方图的分割。

为了说明本方法的计算过程与效果 ,列举了图像“ house ”的部分输出结果。图版 I 中图 1 给出了“ house ”的原图像和 3 个 2 维子空间的分割结果。与源图(图版 I 中图 1(a))对照可见 ,在 RG 子空间的分割结果 I_{RG} (图版 I 中图 1(b))中的草地、天空及窗户边框没有分开 ,在 RB 子空间的分割结果 I_{RB} (图版 I 中图 1(c))中 ,草地、墙壁及房顶没有分开 ;在 GB 子空间的分割结果 I_{GB} (图版 I 中图 1(d))中 ,房顶和墙壁没有分开。可见 3 个 2 维子空间的分割结果没有一个是正确的。这主要是由于投影到 2

维子空间后 ,丢失了某一颜色分量信息而产生的。因此 ,为了得到最终的图像分割结果 ,对 RG、RB 和 GB 3 个子空间的分割结果(图版 I 中图 1(b)~(d))实施融合是必要的。

3 在子空间上图像分割结果的融合

本文的分割方法及实施过程如图 1 所示。

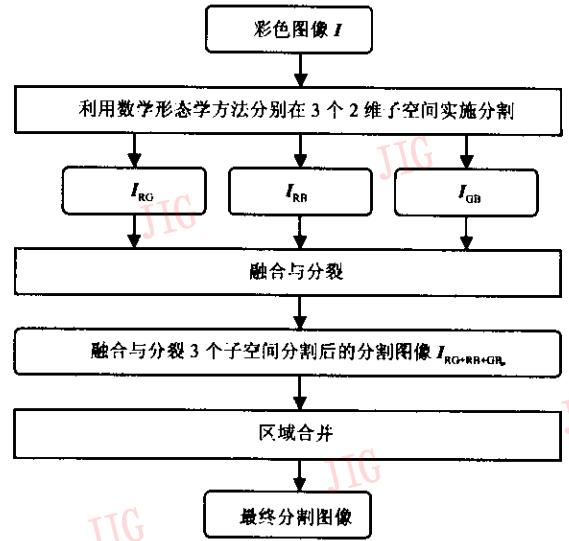


图 1 本文所述方法的分割流程图

Fig. 1 Proposed segmentation flow chart

3.1 利用模糊集合确定的两个彩色区域的匹配度

给定一个输入图像 I N 为图像的像素数。在 2 维彩色空间实施图像分割过程之后 ,即得到 3 个彩色分类结果。

假定 ,在 RG 空间 ,图像 I 被划分为 L_{RG} 类 $I_{RG}^{(l)}$, $l = 1, 2, \dots, L_{RG}$,被分割的图像记为 I_{RG} ,显然满足 :

$$I_{RG}^{(1)} \cup I_{RG}^{(2)} \cup \dots \cup I_{RG}^{(L_{RG})} = I_{RG}$$

$$I_{RG}^{(l)} \cap I_{RG}^{(j)} = \Phi \quad (l \neq j)$$

在 I_{RG} 的第 l 类中有 $N_{RG}^{(l)}$ 个像素 ,其中心为

$$C_{RG}^{(l)} = \frac{1}{N_{RG}^{(l)}} \sum_{x_i \in I_{RG}^{(l)}} x_i$$

同样可分别得到 RB 和 GB 子空间的分割结果及表达符号。

为了融合上述分割信息 ,从类 $I_{RG}^{(l)}$ 到 $I_{RB}^{(j)}$ 的偏相似度定义为

$$S_{RG \rightarrow RB}^{(lj)} = \frac{|I_{RG}^{(l)} \cap I_{RB}^{(j)}|}{|I_{RG}^{(l)}|} \quad (1)$$

其中 $|\cdot|$ 表示集合中的元素个数 , $j = 1, 2, \dots, L_{RB}$,

$l=1, 2, \dots, L_{RG}$ 式(1)表示在 RG 空间的类 $I_{RG}^{(l)}$ 中含有 RB 空间类 $I_{RB}^{(t)}$ 像素点数的相对比率。

同样从类 $I_{RB}^{(t)}$ 到 $I_{RG}^{(l)}$ 的偏相似度为

$$S_{RB \rightarrow RG}^{(t,l)} = \frac{|I_{RB}^{(t)} \cap I_{RG}^{(l)}|}{|I_{RB}^{(t)}|} \quad (2)$$

显然,这两个偏相似度是非对称的,而且偏相似度具有下列性质:

$$(1) \forall l \forall t, 0 \leq S_{RG \rightarrow RB}^{(l,t)} \leq 1$$

$$(2) \forall l, \sum_{t=1}^{L_{RB}} S_{RG \rightarrow RB}^{(l,t)} = 1$$

然后可利用上面定义的偏相似度和子集来构造以下两簇模糊集合:

$$F_{RG}^{(l)} = \sum_{t=1}^{L_{RB}} \frac{S_{RG \rightarrow RB}^{(l,t)}}{I_{RB}^{(t)}} \quad \forall l \in \{1, 2, 3, \dots, L_{RG}\} \quad (3)$$

$$F_{RB}^{(t)} = \sum_{l=1}^{L_{RG}} \frac{S_{RB \rightarrow RG}^{(t,l)}}{I_{RG}^{(l)}} \quad \forall t \in \{1, 2, 3, \dots, L_{RB}\} \quad (4)$$

其中 $S_{RG \rightarrow RB}^{(l,t)}$ 和 $S_{RB \rightarrow RG}^{(t,l)}$ 作为模糊集合的隶属函数。

最后,在上述模糊集合的基础上,定义一个模糊算子,用来度量模糊集合元素(彩色区域) $I_{RG}^{(l)}$ 和 $I_{RB}^{(t)}$ 的匹配度,即

$$M_{RG \leftrightarrow RB}^{(l,t)} = S_{RG \rightarrow RB}^{(l,t)} \Theta S_{RB \rightarrow RG}^{(t,l)} \quad (5)$$

这里 Θ 为二元对称模糊算子。在本文所述的算法中, Θ 取为最小运算,即 $x \Theta y = x \wedge y$ 。显然 $M_{RG \leftrightarrow RB}^{(l,t)} \in [0, 1]$ 。由此可见,式(5)定义的匹配度是对两类 $I_{RG}^{(l)}$ 和 $I_{RB}^{(t)}$ 中所具有的共同像素点多少的度量。

对于给定的阈值 m_0 ($0 < m_0 < 1$), 如果

$$M_{RG \leftrightarrow RB}^{(l,t)} > m_0 \quad (6)$$

则称 $I_{RG}^{(l)}$ 和 $I_{RB}^{(t)}$ 是匹配的。

3.2 区域分裂

对于 $\forall l \in \{1, 2, 3, \dots, L_{RG}\}$, 如果存在 $t \in \{t_1, t_2, \dots, t_k\} \subset \{1, 2, \dots, L_{RB}\}$ 使 $M_{RG \leftrightarrow RB}^{(l,t)} > m_0$ (即 $I_{RG}^{(l)}$ 和 $I_{RB}^{(t)}$ 是匹配的), 则区域 $I_{RG}^{(l)}$ 首先被细分为

$$I_{RG}^{(l)} \cap I_{RB}^{(t_1)}, I_{RG}^{(l)} \cap I_{RB}^{(t_2)}, \dots, I_{RG}^{(l)} \cap I_{RB}^{(t_k)} \text{ 和 } I_{RG}^{(l)} - I_{RG}^{(l)} \cap (I_{RB}^{(t_1)} \cup I_{RB}^{(t_2)} \cup \dots \cup I_{RB}^{(t_k)})$$

由于上述分裂过程实现了 $I_{RG}^{(l)}$ 相对于 $I_{RB}^{(t)}$ 的再分割, 也就是结合 RB 空间的分类信息 $I_{RB}^{(t)}$, 把 RG 空间的类 $I_{RG}^{(l)}$ 进一步细分为 $k+1$ 个子类, 从而达到了 $I_{RG}^{(l)}$ 与 $I_{RB}^{(t)}$ 分类信息的融合, 将此融合结果记为 I_{RG+RB} , 同样可用类似的方法将上述结果 I_{RG+RB} 再与 GB 子空间的分割结果 I_{GB} 实施融合, 以得到最终的分割结果 $I_{RG+RB+GB}$ 。此过程如图 2 所示。

由式(5)及式(6)可知, m_0 越小, 得到的子类就

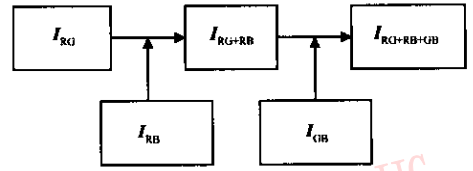


图 2 区域分裂过程

Fig. 2 Process of region split

越多, 如果 m_0 取为零, 则可实现完全分裂, 此时有可能得到很多较小的子集, 但这种情况不利于下一步的合并运算。经过大量实验, 在实际使用中可取 m_0 为 0.5 ~ 0.8 之间的一个数, 在本文的实验计算中, m_0 取值为 0.8。

图像“house”在 2 维子空间 RG 的分割结果图像 I_{RG} (图版 I 中图 1(b)) 可通过第 1 次分裂来得到 I_{RG+RB} (图版 I 中图 2(a)), 由原来的 3 类分裂为 5 类, 在 I_{RG+RB} 中只有侧面与前面的 3 个窗户被错分到草地这一类, 再经第 2 次分裂得到的 $I_{RG+RB+GB}$ (图版 I 中图 2(b)) 有 11 类。由图版 I 中图 2(b) 可见, 所有区域已得到正确分割, 且主要颜色区域与原图像一致。

3.3 区域合并

在上述分裂过程之后, 2 维子空间 RG 上的分割结果图像 I_{RG} , 最后分裂细划为 $I_{RG+RB+GB}$ 。一般来说, $I_{RG+RB+GB}$ 中具有较多类, 但由于可能出现过度分割现象, 因此, 有必要对 $I_{RG+RB+GB}$ 实施区域合并。

由于 CIE(L*a*b*) 彩色系统比 RGB 或 CIE(L*u*v*) 空间具有更好的视觉特性^[2], 因此在彩色区域合并过程中, 采用 CIE(L*a*b*) 彩色空间来计算彩色距离。

在 CIE(L*a*b*) 彩色空间的两个颜色点 (L_1, a_1, b_1) 和 (L_2, a_2, b_2) 之间的距离采用欧氏距离

$$\Delta D = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

在合并算法中, 具有最小颜色距离的两类(比如第 i 和第 j 类)首先合并, 经合并得到的新的区域(比如第 k 类)的平均颜色向量 C 可由下式计算而得:

$$C^{(k)} = \frac{N^{(i)}}{N^{(i)} + N^{(j)}} C^{(i)} + \frac{N^{(j)}}{N^{(i)} + N^{(j)}} C^{(j)} \quad (7)$$

其中 $N^{(i)}$ 和 $N^{(j)}$ 分别表示第 i 和第 j 类中的像素个数。

重复该合并过程, 直到达到指定的类数为止。

经上面两次分裂得到的分割结果 $I_{RG+RB+GB}$ (图版 I 中图 2(b)) 再经合并过程得到最终的分割结果 (图

版 I 中图 2(c)) , 其中类别合并为 7 类 , 而且主要颜色区域仍与原图像一致。此结果甚至比分割为 7 类的 3 维方法的分割结果(图版 I 中图 2(d)) 更为准确 , 因为 3 维分割结果中 , 将部分窗户与草地错分为一类。

4 实验与结果

为验证本文方法的效果 , 对大量彩色图像进行了分析测试 , 其中部分结果在图版 I 图 1 和图 2 中列出 , 相应的 3 维数学形态学方法的分割结果如图版 I 中图 2(d)) 所示。后者是基于 3 维直方图 , 无需融合计算。很显然 , 2 维彩色空间的分割结果在融合之前虽然均不准确(见图版 I 中图 1(b))、(c)、(d)) , 但在融合处理(分裂及合并) 之后 , 不仅图像中的所有主要对象均被正确分割 , 其分割结果与 3 维方法分割结果相一致(见图版 I 中图 2(c)) 和图 2(d)) , 而且本文提出的基于 2 维的算法比 3 维方法分割速度快十多倍。

在分割效果方面 , 不仅从视觉上观察到 2 维方法可获得较好分割效果 , 而且可给出定量评价。根据聚类分析中离差平方和方法的思想 , 对于给定的分类数 , 如果分类是恰当的 , 那么同一类样本的离差平方和 U 比较小 , 而类间离差平方和 V 则比较大 , 从而 $K = U/V$ 比较小。因此 , 对于给定的分类数 K 越小 , 分类的准确度就越高。为了比较 , 还将本文所述的 2 维方法与 3 维方法做了大量实验比较 , 实验部分结果如表 1 所示。

表 1 本文提出的 2 维方法与 3 维方法的比较

Tab. 1 The comparison between 2D and 3D methods

图像	分割类数	运行时间(s)		K	
		2 维	3 维	2 维	3 维
Comp10	22	6.53	63.16	1694	2538
Parrots	13	9.92	66.71	748	943
Alliage	14	14.17	71.53	1584	1707
Peppers	9	6.19	85.16	472	1218
Woman	7	5.55	162.78	171	200
Mandrill	6	6.04	88.40	3165	4979
Pills	13	20.81	85.52	2159	1903
Flowers	19	14.32	102.92	2016	5215
Rifain	10	34.35	110.7	8480	6241
Jbeanc	14	15.70	78.33	1389	1225
Lena	9	14.70	73.65	2109	2335
House	7	5.38	63.83	771	778

由表 1 可知 , 每个被测图像分别用 2 维和 3 维方法分割为相同类数 , 在被测的 12 个图像中 , 用 2 维方法得到的 K 值有 9 个比 3 维方法得到的 K 值小。此外 , 经方差分析 , 用 2 维和 3 维方法得到的两组 K 值在 $p = 0.1$ 的水平下无显著差异。实验结果表明 , 3 维方法与本文的 2 维方法均可得到正确的分割结果 , 后者的分割效果不比前者差 , 甚至更有效 , 特别是在运行时间方面优点更明显。

5 结 论

本文提出了一种新的彩色图像分割方法 , 即先将数学形态学方法用于 2 维空间的图像分割 , 然后运用图像融合的思想 , 采取区域分裂与合并过程获得最终的分割结果。文中只列举了其中的图像 “ house ” 的分割过程与结果。本方法经过了大量图像分割实验 , 并做了定量评价。实验结果表明 , 该方法是有有效的。此外 , 本文提出的 2 维方法还与 3 维方法^[3]进行了比较 , 不仅前者所需内存量是后者的十分之一 , 而且前者的平均运行时间也仅为后者的十分之一(表 1)。

参考文献(References)

- 1 Kurugollu F , Sankur B , Harmanci A E. Color image segmentation using histogram multithresholding and fusion[J]. Journal of Image and Vision Computing , 2001 , 19(13) : 915 ~ 928.
- 2 Cheng H D , Sun Y. A hierarchical approach to color image segmentation using homogeneity[J]. IEEE Transactions on Image Processing , 2000 , 9(12) : 2071 ~ 2082.
- 3 Géraud T , Strub P Y , Darbon J. Color image segmentation based on automatic morphological clustering[A]. In : Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing[C] , Thessaloniki , Greece , 2001 : 70 ~ 73.
- 4 Park S H , Yun I D , Lee S U. Color image segmentation based on 3-D clustering : morphological approach[J]. Pattern Recognition , 1998 , 31(8) : 1061 ~ 1076.
- 5 Bieniek A , Moga A. An efficient watershed algorithm based on connected components[J]. Pattern Recognition , 2000 , 33(6) : 907 ~ 916.
- 6 Soille P. Morphological partitioning of multi-spectral images[J]. Journal of Electronic Imaging , 1996 , 5(3) : 252 ~ 265.

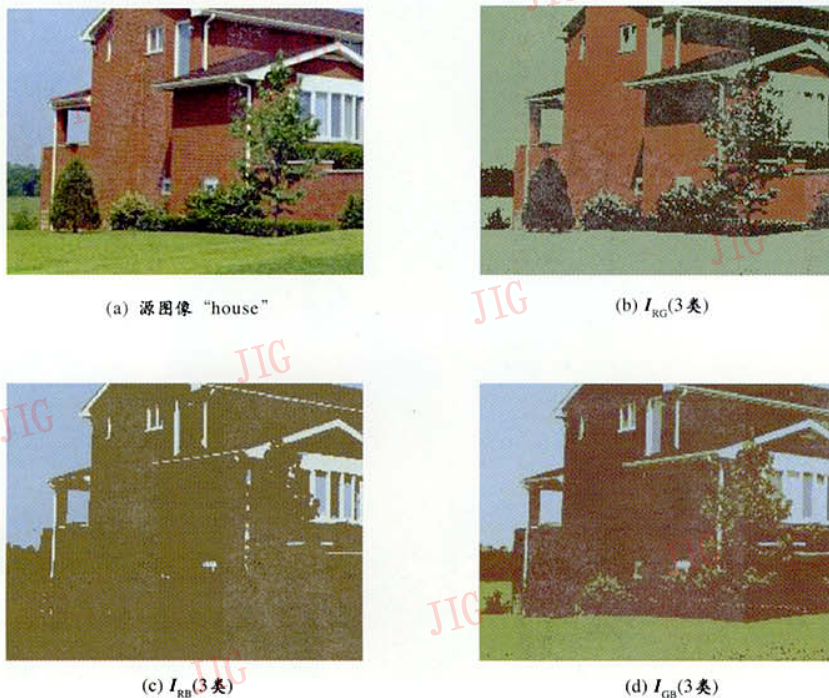


图1 源图像“house”及其在RG, RB和GB 3个子空间的分割结果
Fig.1 Original image “house” and the segmented results on RG, RB and GB sub-spaces

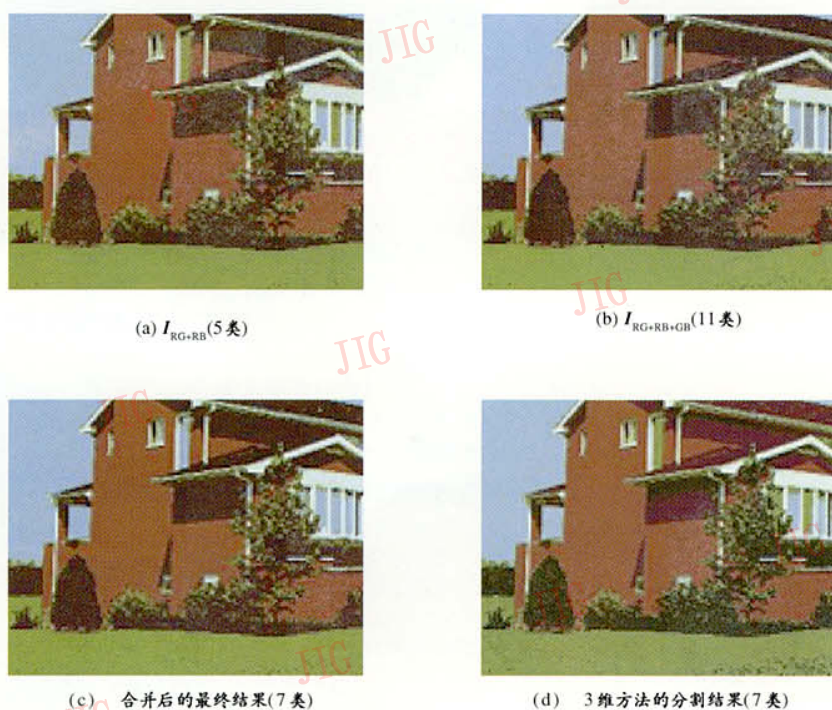


图2 图像“house”的分裂融合过程
Fig.2 Process of the split and fusion for image “house”