

基于人类视觉系统区域分裂的图割 遥感图像分割算法研究

蒋华^①, 温静^②, 王玉斌^②

(^① 桂林电子科技大学 网络中心, 桂林 541004; ^② 桂林电子科技大学 计算机与控制学院, 桂林 541004)

摘要: 针对传统 Normalized Cut (NC) 在分割图像过程中实时性差的特点, 提出一种使用人类视觉系统 (HVS) 区域分裂的图割方法。根据 HVS 特性用区域分裂算法将遥感图像分割成多个小区域, 再结合各个小区域的灰度和空间信息从全局角度用 NC 方法在区域间进行划分, 完成图像的最终分割。实验表明, 相对于传统的 NC 方法, 该算法在获得相近分割质量的同时, 分割速度有了显著提高, 是一种有效的图像分割方法。

关键词: 遥感图像分割; 区域分裂; 图割; Normalized Cut

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.06.003

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1000-3177(2011)118-0013-05

Remote Sensing Image Segmentation Based on Human Visual System Region Splitting and Graph Cut

JIANG Hua^①, WEN Jing^②, WANG Yu-bin^②

(^① Network Centre, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004;

^② Department of Computer and Control, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004)

Abstract: Aiming at the problem of poor real-time ability of Normalized Cut (NC), this paper suggests a remote sensing image segmentation algorithm based on region splitting and graph within human visual system (HVS). According to the features of HVS, the algorithm uses region splitting method to segment the remote sensing image into a large number of small regions. By integrating gray feature and spatial location of each region, NC is used to segment the image among regions from global view, by which the final segmented image can be generated. Experimental result shows that compared with the traditional NC, operating speed is significantly improved as getting close to the segmentation quality, and this is a kind of effective method of image segmentation.

Key words: remote sensing image segmentation; region splitting; graph cut; Normalized Cut

1 引言

遥感图像分割是面向对象的遥感图像分析方法的基础和关键, 在遥感图像工程中处于图像处理和图像理解的中间环节, 是面向对象的图像分割理论研究的突破口^[1]。由于遥感图像纹理信息丰富而光谱信息相对不足, 相对于其他类型图像的分割, 遥感图像分割难度更大, 也更有挑战性。基于图论的分割方

法是目前最受欢迎和应用最为广泛的分割方法之一, 有 optimal cut^[2], Minimum Cut^[3]、NC 方法^[4]、最小生成树方法^[5]等。它们的一个共同点就是将图像中的像素看做特征点, 然后应用聚类或分组的方法对这些点进行划分, 进而完成对图像的分割^[6]。

文献[4]提出的算法用于解决图像分割与聚类中的问题, 是一种比较规范的形式, 可以将求解准则转化为求解矩阵的特征向量问题。该方法将图像看

收稿日期: 2010-09-26 修订日期: 2010-10-08

基金项目: 广西自然科学基金(0991071)。

作者简介: 蒋华(1963~), 男, 河南信阳人, 教授, 博士, 主要研究领域: 数据库系统, 信息安全技术。

E-mail: jianghua@guet.edu.cn

做一个带权图,其每个节点对应图像的一个像素,连接每两个节点的边的权值表示该两节点属于同一区域的可能性,权值的大小与两节点的相似性、邻近性以及连续性等相关,然后在所建的图上寻找一个正规化的最小割来对图中的节点进行划分,进而完成对图像的分割。但是最大的问题是该方法存在 NP-hard 问题,即随着图中节点数的增多,问题的求解变得异常费时,因此对较大的图像进行分割的速度会异常缓慢。

为了克服 NC 的运算量大的问题,许多学者提出不在原始图像上直接用 NC 算法进行分割,而是先对原始图像进行预分割^[7],然后对分割后的区域使用 NC 算法对其进行后处理,图中的节点将不再代表像素,而是代表区域,从而减少了图中的节点数量,只需建立一个规模小的权值矩阵,简化了 NC 的计算。例如文献[8,9]提出先利用 Mean Shift 算法进行预分割,然后对分割区域用 NC 方法进一步分割;文献[10]提出先利用小波变换将其变换到某一合适的低分辨率下的小图像,然后对这个低分辨率下的小图像用 NC 进行分割。本文提出的解决方法也不是在原始图像上使用 NC 分割,而是先利用区域分裂算法对图像进行预分割,生成多个小区域,然后对预分割生成的小区域用 NC 方法作为后处理。

2 相关理论

对于一个带权图,设为图 $G=(V,E)$,其中 V 为节点集合, E 是连接节点的边的集合,连接每两个节点的边赋予权值 $w(u,v)$ 用来衡量两个节点的相似程度, V 的基为 $|V|=n$,移去连接 A 与 B 之间的边将其分为 2 个不相交的子集 A 与 B , $A \cup B = V$, $A \cap B = \phi$,如图 1 所示。定义该图的一个割如下:

$$cut(A,B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u,v) \quad (1)$$

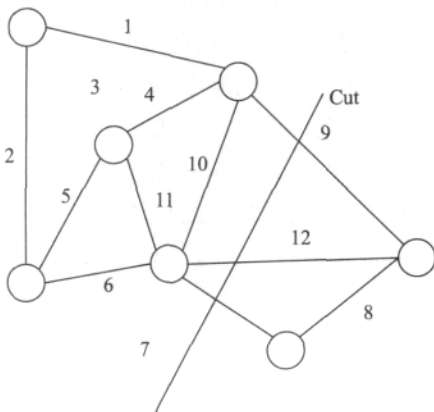


图 1 简单的图划分

即 A 与 B 之间所有边的权值之和,这也是 A 与 B 的不相似度的表示。Shi 和 Malik 在文献[4]中提出采用归一化分准则(NC)来描述两类间的不相似度,该方法不只是计算连接两个子图的边的权值之和,而是将其作为分子,计算这些边在整个图的边集权值中所占的分量,定义如下:

$$Ncut(A,B) = \frac{cut(A,B)}{asso(A,V)} + \frac{cut(A,B)}{asso(B,V)} \quad (2)$$

其中 $asso(A,V) = \sum_{u \in A, v \in V} w(u,v)$,同理可得 $asso(B,V)$, $cut(A,B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u,v)$ 。对于图 G 的一个最优分割是能够使 A 与 B 之间的 $Ncut$ 值最小,NC 方法将计算最优的 $Ncut$ 值问题转换到对矩阵的特征值和特征向量的求解上。

令 x 是一个 n 维的指示向量,设 $x_i = 1$ 表示该点在 A 中, $x_i = -1$ 表示该点在 B 中,令 W 为一个 $n \times n$ 对称矩阵,其元素为 $w(i,j)$, D 是 $n \times n$ 的对角矩阵, D 对角线上的元素为 $d_i = \sum_j w(i,j)$,

$$K = \frac{\sum_{x_i > 0} d_i}{\sum_i d_i}$$

令 l 是一个 $n \times 1$ 的单位向量,通过上述的定义 $Ncut(A,B)$ 可以转换为如下形式:

$$Ncut = \frac{(l+x)^T(D-W)(l+x)}{4kl^T D l} + \frac{(l-x)^T(D-W)(l-x)}{4(1-k)l^T D l} \quad (3)$$

不妨设 $b = \frac{k}{(1-k)}$, $y = (l+x) - b(l-x)$, $y(i) \in \{1, -b\}$,在约束条件 $l^T(D-W)l = 0$ 下,将求解具有最小 $Ncut$ 值的问题转换为如下形式:

$$\min_x Ncut = \min_y \frac{y^T(D-W)y}{y^T D y} \quad (4)$$

上面的形式是 Rayleigh 商数,如果放松对 y 中元素的取值范围要求,那么最小化 $Ncut$ 相当于求解一般的矩阵特征方程:

$$(D-W)y = \lambda D y \quad (5)$$

对于 y ,约束条件是 $y^T D l = 0$ 。设 $z = D^{\frac{1}{2}} y$,把式(5)转换成一个标准的特征方程如下:

$$D^{-\frac{1}{2}}(D-W)D^{-\frac{1}{2}}z = \lambda z \quad (6)$$

于是,非常方便地可以得到特征值为 0 时, $z_0 = D^{\frac{1}{2}} l$ 是方程(6)的一个解,且 z_0 是最小特征向量。第二小特征向量 z_1 正交于 z_0 :

$$z_1 = \arg. \min_{z^T z_0 = 0} \frac{z^T D^{-\frac{1}{2}}(D-W)D^{-\frac{1}{2}}z}{z^T z} \quad (7)$$

把求得两个解代入式(5),得到 $y_0 = 1$ 是方程

的最小特征向量, y_1 正交于 y_0 , 为:

$$y_1 = \arg. \min_{y^T D y = 0} \frac{y^T (D - W) y}{y^T D y} \quad (8)$$

第二小特征值对应的就是图的第一次最优分割^[4], 在向量 y 中选择一个分割数值, 使 y 中大于该数的部分对应节点在 A 中, 其余的在 B 中, 从而得到一个分割结果, 通常情况下取该值为 0, 采用递归算法可以进一步地对得到的子图进行划分, 直到满足条件为止。

3 算法实现

本文提出的算法主要分成两步, 如图 2 所示, 考

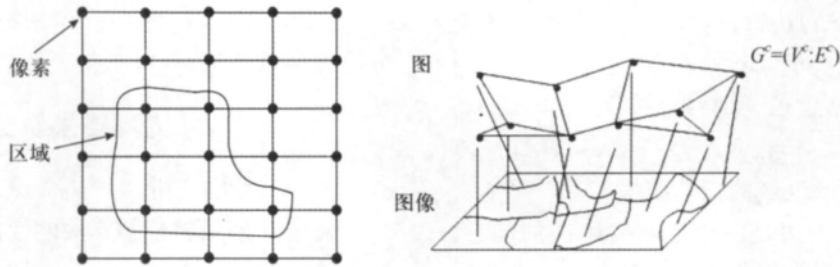


图 2 本文图像分割方法

3.1 HVS 区域分裂算法

3.1.1 传统的区域分裂算法

区域分裂技术利用了图像数据结构的金字塔或二叉树结构的层次概念, 将图像划分为一组任意不相交的初始区域。本文采用的是二叉树的结构, 其中心思想形象地说就是从图像二叉树的任一中间层开始, 根据给定的均匀性检测准则进行分裂。并以此来逐步改善区域划分的性能, 直到最后将图像分成数量最少的均匀区域为止。

不妨设待分割的图像的大小为 $N \times N$, 则二叉树区域分解的过程为: 将原始图像分成 4 个大小相同的方块, 判断每个方块是否满足一致性标准; 如果符合则停止分割, 如果不符合, 则将该区域再细分为 4 个相同大小的区域, 并对每次细分后的区域进行一致性检查, 如此不断地重复下去, 直到图像中所有的区域都符合一致性标准才停止。最开始的时候, 使用每一块图像区域中极大极小灰度值之差是否在容许的范围来作为均匀性检测准则。目前均方差最小, F 检测都是最常用的均匀性检测准则。

3.1.2 HVS 区域分裂算法

HVS 是世界上最好的图像处理系统, HVS 对图像的认知是非均匀的和非线性的, 并不是对图像中的任何变化都能感知, 例如图像系数的量化误差变化在一定范围内是不能为人眼所察觉的。事实上, 在图像中如果相邻像素点的灰度相差不大, 但是

虑到图像中空间上相邻的像素具有相似性, 首先利用区域分裂技术对图像中相邻像素进行初始分割, 把空间上相邻的像素划分为小区域, 然后再利用每个区域的特征用 NC 的方法对区域进行分割。该方法将每个小区域看成是图的一个节点, 建立一个带权浓缩图 $G^c = (V^c, E^c)$, 权值代表区域之间的近似关系。这样使得所产生的权值矩阵非常小, 那么求解矩阵的特征值与特征向量就变得很简单, 实现起来也会很方便。该方法对区域分裂和 NC 这两个算法取长补短, 有效地利用了两个算法的优点进行图像分割。

包含了丰富的信息的话, 人眼则无法从图像中提取相应的信息, 因为人眼分辨灰度的能力很差, 一般只有几十个数量级。传统的区域分裂算法并没有利用到 HVS 的一些特点, 从而导致出现过分割现象很严重, 这样不利于本文算法的后处理。本文根据 HVS 特征使用一种 HVS 区域分裂方法, 其原则是: 当区域块内像素的最大值与最小值之差大于某一阈值时, 将区域块进一步分成 4 个子区域, 直到小于某一阈值或者达到分解深度条件时不再细分。根据人眼系统特征, 这个阈值通常是几十个数量级。考虑 HVS 按照一致性准则, 图像块的相似性必定落在矩形内, 且当区域块的大小小于某一阈值时不再细分的话就不用对初始区域进行区域合并了, 这样能进一步减少小区域数, 从而图的节点也减少了, 且分割的速度更快。新型区域分裂算法的实现步骤如下:

① 将原始图像分成 4 个大小相同的方块, 判断每个方块是否满足一致性标准;

② 设定划分深度范围, 即区域块所允许的最大与最小尺寸;

③ 如果满足划分的最小深度范围就不再继续分裂 (即使没有达到一致性标准); 否则如果不满足一致性标准就再细分为 4 个小方块, 并对细分得到的方块作深度范围和一致性检测;

④ 重复步骤③, 直到所有的方块都满足一致性标准才结束。

3.2 NC 用于区域间的分割算法

NC 用于区域间的分割与用于原始的图像的分割不同之处是图 G 的计算;基于区域的相似性构造连通图且基于区域间的距离及相似性计算图的边权值,即构造矩阵 w 。如果图 G 是由图像的每个像素构成,则矩阵是可以直接存取的,对于任一个像素,与其相邻接的像素均可直接存取。而对于区域信息是不可以直接存取的,只能从由区域分裂后所产生的预分割图提取信息,本文通过构造区域邻接图完成这个任务。区域邻接图是一种图结构,图中每个节点表示一个具有独特特征的区域,如两个节点间有边则表示这两个节点对应的区域是邻接的。本文通过光栅扫描图像区域来构造区域邻接图,完成扫描后,区域邻接图则表示为邻接矩阵 A ,如区域 i, j 相邻则有 $A_{ij} = 1$,如不相邻 $A_{ij} = -1$,构建好矩阵 A 后就可以直接存取区域的拓扑结构了。

如何确定图 G 的边是一个急需解决的问题。本文是通过判断两个区域的质心间的距离 t 来确定两个节点间是否存在边,如 t 小于 r 则用一条边连接这两个区域。距离事先并不确定,必须先计算每对区域的距离,为了计算方便,本文计算区域邻接图 A 中对应的两个区域的节点的最短路径长度,在邻接矩阵 A 中如一对节点的最短路径长度为 k 则用一条边连接这对节点就得到图 A^k ,称 A^k 为较高次序区域邻接图,此图即为对应区域的图 G ,称 k 为邻接次序参数。

利用区域间的距离及相似性计算图 G 的边权值,本文采用适用于区域的方法:

$$W_{ij} = e\left(\frac{\|I_i - I_j\|}{\alpha_1^2}\right) \cdot e\left(\frac{\|X_i - X_j\|^2}{\alpha_x^2}\right) \quad (9)$$

其中 W_{ij} 代表连接节点 i, j 的边权值, I_i 代表区域 i 的平均亮度, X_i 代表区域 i 的质心所对应的空间位置。构造好矩阵 W 后就可以利用前面所述的

NC 方法划分区域。

3.3 算法具体步骤

- ①利用 HVS 区域分裂算法对原图进行预分割;
- ②以①输出的结果,以区域为顶点构建浓缩赋权无向图 G^c ;
- ③计算无向图 G^c 边上的权值,完成矩阵 W 和矩阵 D 的赋值;
- ④解特征方程 $(D - W)y = \lambda Dy$, 求其特征值与特征向量;
- ⑤利用与第二小特征值对应的特征向量,对图中的节点进行划分,进而完成对图像的分割;
- ⑥如果需要对图进行再细分,递归的调用 NC 方法在区域间进行分割,得到图像的最终分割。

4 仿真结果及分析

4.1 定性分析

对于遥感图像分割算法的性能好坏目前还没有一个统一的评价方法。一般来说。图像分割结构的好坏,都是由人眼主观判定的。本文算法在初始分割阶段引入了 HVS 概念对图像进行分割。本文实验对象图 3 和图 4 分别是大小为 294×264 的卫星图像和 339×393 的快鸟高分辨率遥感图像(为了显示方便将所有图片缩小成一样大小的图片),图 3 和图 4 中的(a)分别为待分割遥感图像;(b)是直接 NC 分割结果,(c)为新型区域分裂的结果;(d)为本文分割算法分割结果。从图中可以看出,直接运用 NC 进行分割可以产生目标的大部分有意义的区域,但是耗时较大且会产生没有意义的零散小区域;图像直接运用新型区域分裂算法对图像进行分割会产生过分割现象,没有获得目标的有意义区域,实用性不强;对于不同的遥感图像,运用本文的算法可以提取出图像中的主要区域。

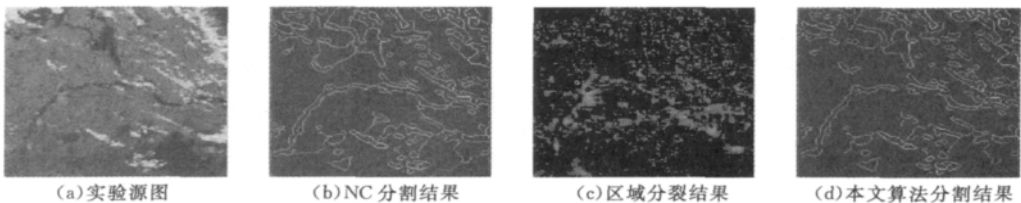


图 3 图像分割实例(卫星图像)

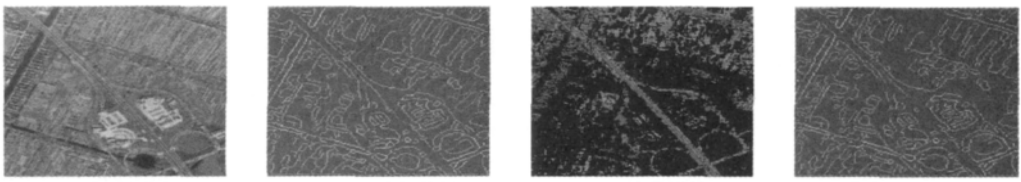


图 4 图像分割实例(快鸟高分辨率图像)

在本文中,针对 NC 算法在图像分割中存在的问题,我们用 HVS 区域分裂算法对图像进行初始分割,然后运用 NC 算法对初始分割结果进行合并,得到最终结果。其中运用 HVS 区域分裂算法对图像进行初始分割,可以大大减少节点数目,从而提高了 NC 的运行速度。

4.2 定量分析

为了定量地分析本文算法的运算效率,在 pentium4,主频 1.60GHz,0.99GB 内存的个人电脑上,运行 Matlab 程序对遥感图像进行分割。表 1 所示为 NC 算法和本文算法的性能比较,算法中参数的选取一般采取经验值,为了便于比较,参数取值与文献[4]相同。从表中可以看出本文的算法所用的时间明显少于直接用 NC 分割,原因是 NC 分割

表 1 两种算法的比较

实验 遥感图像	名称		卫星图像	快鸟图像
	大小		294×264	339×393
参数设置	α		0.01	0.01
	β		4.0	4.0
分割算法	NC	分割区域数	45	260
		所用时间	33.266	307.656
	本文 算法	分裂后区域数	774	695
		所用时间	19.547	18.628

把图像中的每个像素作为带权图的节点,图像的大小决定了带权图的大小,所用时间会因图像的增大而急剧增大;本文算法采用 HVS 区域分裂后的小区域作为带权图的节点,节点数大大减少,并且所用时间与图像的大小没有直接的关系,只取决于新型区域分裂后的小区域的多少。从表中可以看出,快鸟高分辨率图像虽然较大,但是区域分裂后的区域少,所用的时间也较少。本文算法由于有初始的区域分裂算法进行预分割,所以算法速度大幅度提高。

5 结束语

NC 算法把握图像的全局信息对目标进行分割,但由于图像的大数量性质,每个像素都作为建立的带权图的节点,导致节点过多,问题的求解异常费时。HVS 区域分裂算法分块灵活性高,计算速度快,但过分割现象严重,没有实用价值。针对 HVS 区域分裂算法与基于 NC 的图像分割算法各自存在的优缺点,本文算法把区域分裂和 NC 算法有效地结合起来,保留 2 种算法优点,提出一种使用 HVS 区域分裂图割的遥感图像分割算法。该算法首先用 HVS 区域分裂算法对图像进行初始分割,然后用 NC 方法来进行精确分割。仿真结果表明,该算法是可行的,且大大提高了分割速度,保证了分割精度和区域完整性。

参考文献

- [1] 刘建华,毛政元.高空间分辨率遥感影像分割方法研究综述[J].遥感信息,2009(6):95-101.
- [2] LI XIAO-BIN,TIAN ZHENG.Optimum cut-based clustering[J].Signal Processing,2007,87(11):2491-2502.
- [3] WU Z Y,LEAHY R.An optimal graph theoretic approach to data clustering:Theory and its application to image segmentation[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence,1993,15(11):1101-1113.
- [4] SHI J,MALIK J.Normalized cuts and image segmentation[J].IEEE Transaction on Pattern Analysis Machine Intelligence,2000,22(8):888-905.
- [5] PAVAN M,PELILLO M.A new graph-theoretic approach to clustering and segmentation[C]//Proceedings of 2003 IEEE Computer Society Conference on CVPR,2003(1):145-152.
- [6] MARTINEZ A M.On combining graph-partitioning with non-parametric clustering for image segmentation[J].Computer Vision and Image Understanding,2004,95(1):72-85.
- [7] CEVAHIR CIGLA,A.AYDIN ALATAN.Region-based image segmentation via graph cuts[C]//IEEE Communication and Applications Conference,2008(16):1-4.
- [8] TAO WEN-BING,JIN HAI,ZHANG YI-MIN.Color image segmentation based on mean shift and Normalized Cut[J].IEEE Transaction on Systems,Man,and Cybernetics,2007,37(5):1382-1389.
- [9] ANJIN PARK,JUNGWHAN KIM.Graph Cut-based automatic color image segmentation using mean shift analysis[J].Computing:Techniques and Applications,2008(56):564-571.
- [10] 王振良,王继成.多分辨率下基于 Normalized Cut 的图像分割[J].计算机应用,2008,28(9):2309-231.