

# 针对高分辨率遥感影像分割的改进连通域标记方法

王 晶<sup>1</sup> 张艳宁<sup>1</sup> 骆剑承<sup>2</sup> 明冬萍<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (西北工业大学计算机学院, 西安 710072)

<sup>2</sup> (中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

E-mail: christinewj81@hotmail.com

**摘 要** 针对高分辨率遥感影像信息量大的特点, 提出一种新的连通域标记方法—包围判断式标记, 快速完成对影像分割结果的连通域标记。尤其对分割结果中含有大面积连通分割子区域的情况, 此方法能大大减少像素 4-连通比较的次数, 并且能在标记步骤有效地去除部分无意义的分割小区域。复杂度分析和实验结果证明, 包围判断式标记方法比传统的顺序式标记方法具有更高的运行效率, 更能适应高分辨率遥感影像处理的要求。

**关键词** 高分辨率遥感影像 连通区域标记 包围判断式标记 顺序式标记

文章编号 1002-8331- (2005) 10-0037-03 文献标识码 A 中图分类号 TP391

## Improved Connected Component Labeling on High-resolution Remote Sensing Image

Wang Jing<sup>1</sup> Zhang Yanning<sup>1</sup> Luo Jiancheng<sup>2</sup> Ming Dongping<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (College of Computer, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072)

<sup>2</sup> (Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

**Abstract:** Circling and Judging Labeling a new connected component labeling strategy is proposed to implement real-time component labeling for segmented result of high-resolution remote sensing image. In the new strategy, computing times of 4-connected neighbor inspection are greatly reduced especially for segmented result containing connected components of large area. Besides, some meaningless segmented regions are removed during the labeling process. Experimental results and complexity analysis show that the new strategy is more efficient than traditional sequential labeling and more adaptive to high-resolution remote sensing image.

**Keywords:** high-resolution remote sensing image, connected component labeling, circling and judging labeling, sequential labeling

### 1 引言

随着遥感技术的发展, 地球资源卫星所提供的遥感影像具有越来越高的空间分辨率。突破米级分辨率的遥感影像数据中, 已能够清晰地分辨出地面的细节特征, 从而在农业、森林、矿山开采、环境现状调查等<sup>[2]</sup>社会各领域中具有广阔的应用市场。文<sup>[1]</sup>提到, 高空间分辨率卫星影像处理技术中的目标自动提取与识别是我国遥感科学与技术发展的一个重要方面。目前, 针对高空间分辨率遥感影像的自动分析和理解的技术手段还很不成熟, 影像中大量的信息不能得到充分的应用。

一般通过对遥感影像进行分割、目标识别而实现信息提取, 而连通域标记是分析分割结果以及进行后续目标识别的必要步骤。正确快速的标记手段将为后续的分析与识别带来很大的便利。该文将探讨一种新的标记方法—包围判断式标记, 以提高对具有较大信息量的高分辨率遥感图像进行处理的效率。

### 2 连通区域标记

无论是二值分割结果还是多值分割结果, 分割得到的图像一般包含多个区域, 提取出这些区域需要通过区域标记来实现。对连通域标记方法已有的改进和研究主要集中在如何降低等价区域合并过程的时间复杂度和空间复杂度<sup>[4, 5, 6]</sup>; 或者是通过某种特殊手段, 免去等价区域合并过程, 一次性完成连通域标记<sup>[7, 8]</sup>。论文所述的方法主要对标记运算本身进行改进, 以减少对每个像素进行邻域连通性运算的次数, 提高运行效率, 从而接近于对高分辨率遥感影像实时处理的要求。

#### 2.1 传统的连通区域标记方法—顺序连通域标记法

根据分割的定义, 在分割结果中一个像素不能同时属于两个区域, 同一个子区域内的任两个像素在该子区域内互相关联<sup>[3]</sup>。根据分割子区域内部连通的特点, 检查各像素与其相邻像素的连通性能够对分割后的图像完成区域标记。采用 4-连通的方法从左至右、从上至下逐个检查各个像素与其相邻像素的

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划项目 (编号: 2002AA135230)

作者简介: 王晶, 硕士生, 研究方向为数字图像处理与计算机视觉。张艳宁, 博士, 教授, 主要从事信号与图像处理、模式识别、计算机视觉、数据挖掘等方面的研究。骆剑承, 博士, 副研究员, 主要研究方向为空间数据挖掘、遥感图像处理、时空信息认知等。明冬萍, 博士生, 研究方向

为遥感图像智能处理、遥感信息提取技术。

© 1994-2006 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

计算机工程与应用 2005.10 37

连通情况。文[3]给出了分割结果为二值图情况下的检测方法,下面对其进行一定的扩展使其能应用于多类分割结果图。多类分割结果中,每一个类别以不同的标志号来代表。具体的标记过程为:对于当前待检测像素P,检查其左邻像素L和上邻像素A,可能出现的情况有如下几种:

(1) L和A的类别标志号与P的类别标志号均不同,则给P一个新的区域标记。这说明当前像素所在连通域第一次被扫描到。

(2) L和A中仅有一个具有与P相同的类别标志号,则P被赋予和此像素相同的区域标记。

(3) L、A及P三者具有相同的类别标志号,但L、A两者的区域标记不同,将其中一个像素的区域标记赋给P。记录P为等价区域标志点。

(4) L、A及P三者具有相同的类别标志号,且L、A具有相同的区域标记,则将它们区域标记赋给P。

按这种策略对分割结果整幅图像完成一次扫描之后,每个像素都得到了各自唯一的区域标记。顺序连通域标记法是对整幅图像从左至右、从上至下逐行逐列扫描每个像素,这样保证在扫描当前像素时,其左邻像素和上邻像素都已被处理过。对于尺寸较大、内容较复杂的高分辨率遥感图像,这种遍历型的标记意味着极大的运算量,远不能达到实时处理的要求。考虑到分割子区域的内部连通性,设计了一种新的区域标记策略—包围式判断标记,将能大大减少对像素进行4-连通运算的次数。

## 2.2 改进的连通区域标记方法—包围式判断标记法

当分割结果中存在大面积连通域时,包围式判断标记法能快速完成对这些较大面积分割子区域的标记,从而提高整个标记过程的效率。其主题思想是:将分割结果图在纵横方向上等间距划分为多个方形网格,自身连通网格内部的像素可不进行相邻像素连通性检测运算,直接获得区域标记。

根据分割定义,分割子区域具有连通性,因此具有自封闭性。若某一方形网格的所有外围像素都具有相同的类别标记,在网格边长不是很大的前提下,可认为网格内部所有像素也具有和外围像素同样的类别标记,也就是说网格是内部连通的,这样就免除了网格内部像素参与4-连通运算而直接获得区域标记。实际中可能有两种情况:方形网格自身确实为一个连通域。或者,在方形网格内部仍有其他类别的分割子区域,但由于对网格边长的限制,这个子区域的面积已足够小,可看作是噪声影响产生的无意义的小区域。这样,上面所述标记方式就等同于去除了网格内部的小区域。总之,判断网格内部连通性就转化为判断网格外围像素是否属于同一类别。对整幅图像,按照从左至右、从上至下的次序,对每个方形网格的外围像素以顺时针次序逐个检测。如出现某一外围像素与其参照像素不同分割类别的情况,即停止检测过程,标记此网格为非内部连通网格。图1为网格外围像素类别标记一致性检测顺序的示意图,图中P表示当前待检测像素,R表示P的参照像素。具体而言,上围边像素的参照像素为其左邻像素,右围边像素的参照像素为其上邻像素,下围边像素的参照像素为其右邻像素,左围边像素的参照像素为其下邻像素。

对于内部连通的网格,除了需对其左上角像素进行4-连通运算而得到区域标记外,网格中其他像素可直接获得与左上角像素同样的区域标记。特别注意的是,除此之外,还要检查连

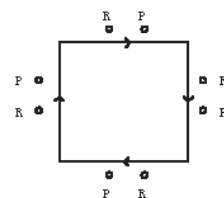


图1 网格外围像素类别标记一致性顺时针检测示意图

通网格的右上和左下两个角点是否为等价标志点,以保证不会漏记此连通网格与其相邻网格边缘像素的连通域等价关系。对于非内部连通的网格,按照传统方法由左至右、由上至下扫描各个像素,对每个像素进行4-连通比较运算而获得区域标记。

包围式判断标记法简化了内部连通方形网格的标记运算,使得较大面积连通域中的很多像素免除了4-连通运算,直接获得区域标记;而且能同时去除一些无意义小区域,为后续去除小区域的运算降低了运算负荷。无论是传统方法还是改进方法,以上过程只是得到了区域标记的初步结果,还需要对等价区域进行合并才完成了整个连通域标记过程。改进方法和传统方法所产生的初步标记结果完全相同,在等价区域合并一步的运算代价也将完全相同。

## 2.3 改进方法与传统方法定量分析比较

下面对改进方法比较运算量的计算是以传统方法的比较运算量为基数而得到的比值。传统标记方法中,对每个像素进行4-连通比较运算;改进方法中的连通性检测比较运算包括以下三部分:检测网格的内部连通性、对内部连通网格的左上角像素进行连通域标记、对非内部连通网格的所有像素进行连通域标记。

检测网格的内部连通性即判断其所有外围像素是否属于同一分割类别。若某一网格是内部连通的,则其所有外围像素都参与了检测比较运算。最坏的情况下,所有网格都是内部连通的,那么参与检测比较运算像素占有所有像素数目的比例为 $4(R-1)/R^2$ ,其中R为网格的边长。且每个像素只与其参照像素这一个相邻像素进行连通性检测比较,因此比较运算的运算量为 $4(R-1)/R^2 \times 1/2$ 。对内部连通的网格,只需对其左上角像素进行4-连通比较运算,其他像素都与左上角像素具有相同的连通域标记。设内部连通网格占有所有网格数目的比例为a,那么此部分进行比较运算的运算量为 $a/R^2$ 。对非内部连通网格,网格中每个像素都需要进行连通性检测比较,因此进行比较运算的运算量为 $(1-a)$ 。

综上,改进方法中进行连通性检测的运算量为:

$$\frac{4(R-1)}{R^2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{R^2} \times a + (1-a) = \frac{2(R-1)+a}{R^2} + (1-a) \quad (1)$$

要使得改进方法的运算量小于传统方法的运算量,需要满足:

$$\frac{2(R-1)+a}{R^2} + (1-a) < 1 \quad (2)$$

由于一般高分辨率图像的尺寸较大,于是网格的边长也较大,而本身有 $a < 1$ ,因此 $a/R^2$ 的值很小,在下面的分析中将忽略不计。这样,(2)式就转化为:

$$\frac{2(R-1)}{R^2} < a \quad (3)$$

通过(3)式能定量地衡量某一幅分割结果图是否适用于采用包围判断式方法进行连通域标记。分析可知,此问题与网格

的边长、连通网格占有所有网格数目的比例这两个因素相关。图像的尺寸越大,则网格的边长越大, $2(R-1)/R^2$ 的值越小,越容易满足G式;分割结果图中内部连通的网格所占比例越大,即a越大,也越容易使G式成立。因此,尺寸较大、分割结果中含有较大面积分割子区域的图像,采用包围判断式标记运算效率的优势越明显。

3 实验结果与分析

对于具有丰富信息的高分辨率遥感图像的分割结果,为了提高处理的效率,以包围判断式标记代替传统的顺序式标记,能减少像素进行邻域连通性运算的次数,并且能去除一定数目的小区域。下面通过改进方法中比较运算量的值、标记时预去除的小区域占有所有小区域的比例二参量,反映包围判断式标记的优点和局限性。

为了客观反映改进方法对效率提高的情况,对所选的32幅图像在同样的前提条件下进行分割以及连通区域标记的试验。对每一幅图像,均划分为20\*20个网格,且定义相等的小区域面积约束,即区域包含像素数目小于或等于100认为是小区域。

3.1 包围判断式标记的比较运算次数

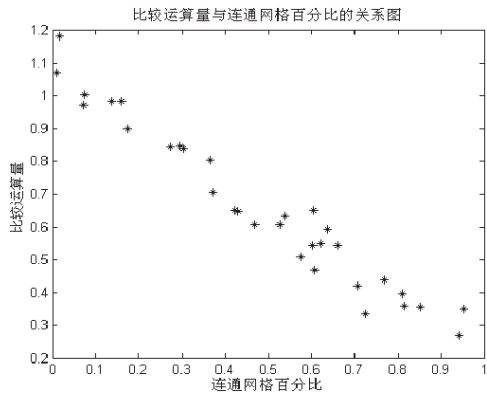


图2 比较运算量与连通网格百分比的关系图

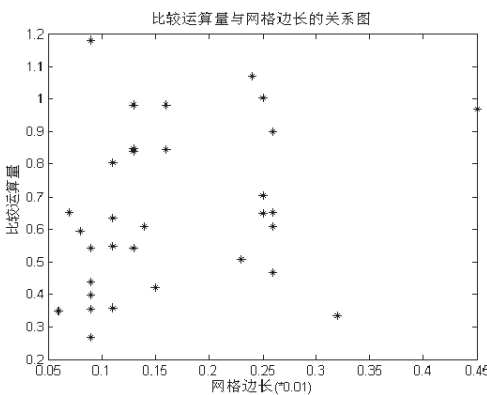


图3 比较运算量与网格边长的关系图

图和表中提到的改进方法的比较运算量是指,按照2.3节中的分析手段,以传统方法运算量为基数获得的比值。图2表现了比较运算量与连通网格百分比基本上成反比关系,考察图3发现网格边长与比较运算量不存在明确的正比或者反比关系。从表1中各图像对应参量的数值可看出,在网格边长相同的前提下,内部连通网格所占比率越大,改进方法的比较运算量越小;在内部连通网格所占比率相近的前提下,网格边长越

大,改进方法的运算量越小。总体而言,比较运算量受内部连通网格所占比率的影响较大,因此分割结果图中是否拥有较多的大面积连通子区域是影响改进方法效率的关键。

3.2 标记时预去除小区域的比例

分析表1中的数值,预去除小区域所占比率与连通网格所占比率没有严格的正比或反比关系。事实上,这个参量还与小区域的位置等因素有关。若小区域大都位于网格的内部,则在标记时就能将其去掉;反之,如果小区域大都处在网格间的边界线上,在包围判断式区域标记时则无法将它们去除。对于小区域的位置,无法对各幅图像做出定量的分析,只能结合具体图像定性说明。而且,从数值比例上看,标记时预去除的小区域虽然只占有所有需去除小区域很少一部分,但通常去除小区域所进行的区域合并运算代价比较大,此部分的预去除为后续处理减轻了运算负荷。

表1 连通网格所占比率与比较运算量、预去除小区域占有所有小区域比例的关系表

图像序号	连通网格所占比率	网格的边长(像素数)	改进方法的比较运算	预去除小区域所占比率
1	0.852	9	0.356	0.000
2	0.814	11	0.358	0.184
3	0.707	15	0.421	0.143
4	0.636	8	0.593	0.025
5	0.608	26	0.467	0.176
6	0.537	11	0.633	0.299
7	0.468	26	0.607	0.031
8	0.304	13	0.840	0.073
9	0.175	26	0.899	0.045
10	0.072	45	0.971	0.022

4 结论

针对高分辨率遥感影像,设计了一种新的连通域标记法—包围判断式标记法,比传统方法具有更高的运算效率,尤其当分割结果中存在大面积连通域时优势更明显;同时在标记时能预先去除一些小区域。实验结果和复杂度分析证明,改进方法比传统方法更接近实时处理高分辨率遥感影像的要求。

对图像分割结果进行连通域标记是对图像识别和理解所作的准备工作。标记后提取出各个独立连通域,通过分析其方位和形状信息,判断它们与真实目标间的对应关系。此外,获取分割结果中的区域之后,通过面积约束可去除因噪声影响而产生的无意义分割小区域,改善了分割效果。因此研究针对高分辨率遥感图像的高效连通域标记方法对遥感图像分析与识别具有极其重要的意义。

连通域标记的过程,实质上是对像素的空间拓扑信息利用的过程,如能研究出快速简单的标记图像的算法,可将其进一步扩展到三维情况而用于对三维数据集的标记<sup>[6]</sup>。另外,近来有将连通域标记相关方法与并行处理和VLSI技术的发展成果相结合,设计高速和高吞吐量的硬件算法及硬件结构的研究趋势<sup>[5,9,10,11]</sup>。研究和设计高效且运算简单的并行化连通域标记方法,便于将其硬件化且投入到实际应用中。

(收稿日期 2004 年 11 月)

参考文献

1. 万幼川.我国遥感科学与技术发展现状[J].地理空间信息,2003,01(2):

(下转 112 页)



传送标准 (ETS300 472) 规定,将图文电视数据从 TS 流中滤出,发送到视频编码部分按照图文电视标准将图文数据插入相应的场逆程行上,伴随复合视频信号输出。通用异步通讯模块:处理异步通信问题。未来功能扩展模块:包括条件存取、数据广播、交互式操作、Internet 网页浏览等待开发模块。

5 以搜索新频道为例说明各主要模块进程间的协作  
各进程按下列步骤依次执行最终完成整个搜索过程 (参照图 4):

(1) 用户通过遥控按键发出搜索新台的命令,键译码进程译码该命令后,发送消息给用户接口进程。

(2) 收到该消息后,首先,用户接口进程调用 TUNER 模块的 API 函数设置高频头调谐频率及 QAM 解调器的参数,然后释放信号量迫使调谐控制进程重新进入新一轮的参数设置与实时监控状态。

(3) 用户接口进程发送消息给数据库构造进程,先停止当前可能正在进行的一切与新频道无关的数据库构造动作,再开始新的数据库构造。

(4) 数据库构造进程调用 PTI 模块提供的 API 函数设置解复用器,首先申请 PAT 表的解复用。

(5) 解复用器一旦完成 PAT 表的解复用,则产生中断,触发 PTI 中断服务程序工作,从而释放信号量以唤醒 Section 过滤监控进程工作。

(6) Section 过滤监控进程将解复用后暂存在循环缓存区中的 PAT 表数据拷贝到指定的线形缓存区,同时发送消息给数据库构造进程以通知它 PAT 数据已准备好。

(7) 数据库构造进程开始解析刚拷贝过来的 PAT 数据,并构造新的数据库。

通过解析 PAT,获得了各套节目的 PMT 的 PID,然后逐一提出各 PMT 的解复用申请。

重复步骤 4 到 7,对该频道中所有节目的 PMT 进行解复用和解析,待完成所有 PMT 的解析后,发送消息给用户接口进程通知它可以进行节目的视频、音频流解复用与解码;同时,继续依次进行 NIT、SDT (Service Describe Table 服务描述表)等服务信息表的解复用申请与解析。

(8) 用户接口进程收到发自数据库构造进程的消息后,从新构造的数据库节目信息链表中取出当前频道内第一套节目

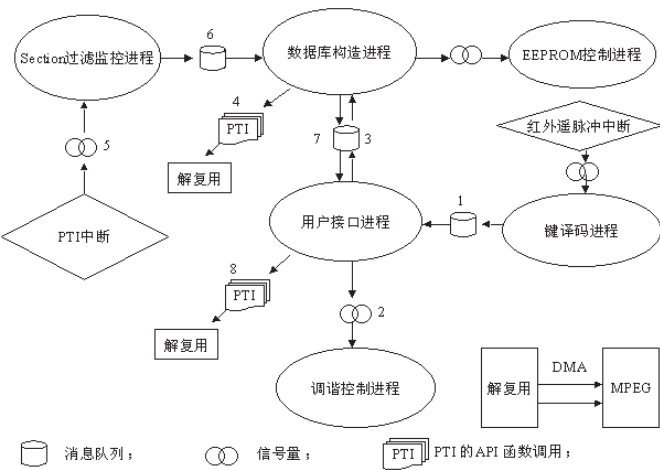


图 4 各进程的执行业务步骤

的音频、视频、PCR 的 PID 值,并调用 PTI 模块提供的 API 函数设置解复用器 (包括 PID 设置、DMA 引擎设置等),后者将滤出的视频、音频流通过 DMA 引擎传送到 MPEG 解码模块进行解码、显示。

6 结束语

该文所论述的软件实例已经在该公司的产品上得以应用,用户反应较好。由于操作系统和硬件条件的限制,此软件的用户界面和功能设计较为简单,今后类似 VxWorks 等商用嵌入式操作系统和标准中间件技术的引入,上述问题将会得到完善的解决。由于各种数字电视传输标准只是在前端不同,文章对于设计符合其他传输标准的数字电视机顶盒软件也有一定的参考价值。(收稿日期 2005 年 1 月)

参考文献

1.STi5500 Datasheet.ST 公司,1999-04  
2.Andrew S Tanenbaum.操作系统:设计与实现[M].第二版,北京:电子工业出版社,1998-08  
3.Wayne Wolf.嵌入式计算系统设计原理[M].北京:机械工业出版社,2002-02  
4.严蔚敏,吴伟民.数据结构[M].第二版,北京:清华大学出版社,1992-06

(上接 39 页)

3~5  
2.李志林,岑敏仪.高分辨率卫星图像的回顾和展望[J].铁路航测,2001;1:1~4  
3.章毓晋著.图像分割[M].北京:科学出版社,2001-03:63~64,70~73  
4.Jung-Me Park,Carl G Looney,Hui-Chuan Chen.Fast Connected Component Labeling Algorithm Using A Divide and Conquer Technique[R].TR-2000-04,Department of Computer Science,The University of Alabama  
5.N Ranganathan,R Mehrotra,S Subramanian.A High Speed Systolic Architecture for Labeling Connected Components in an Image[J].IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics,1995,25(3):415~423  
6.D Ayala,J Rodriguez,A Aguilera.Connected Component Labeling Based on the EVM Model[C].In International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques[C].In:Proceedings of the 18th Spring Conference on Computer Graphics,2002:63~71  
7.Yang Yang,David Zhang,A Novel Line Segment Clustering Algorithm

for Identifying Connected Components in Digital Images[J].Image and Vision Computing,2003,21:459~472  
8.Luigi Di Stefano,Andrea Bulgarelli.A Simple and Efficient Connected Components Labeling Algorithm[C].In:International Conference on Image Analysis and Processing,1999:322~327  
9.Kuang-Bor Wang,Tsong-Lin Chia,Zen Chen.Parallel Execution of a Connected Component Labeling Operation on a Linear Array Architecture[J].Journal of Information Science and Engineering,2003,19:353~370  
10.David A Bader,Joseph Jala.Parallel Algorithms for Image Histogramming and Connected Components with an Experimental Study[C].In:Proceedings of the 5th ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming,1995:123~133  
11.Brill Mozef,Serge Weber,Jamal Jaber et al.Parallel Architecture Dedicated to Connected Component Analysis[C].In:Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition,1996:699~703