

文章编号:1001-9081(2010)06-1616-03

## 基于游程递归的连通区域标记算法

沈乔楠, 安雪晖

(清华大学 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

(cq03@mails.tsinghua.edu.cn)

**摘要:**在研究已有算法的基础上,提出一种基于游程递归的标记算法,该算法可以对二值图像实现快速标记。顺序扫描图像,寻找未标记的游程,并递归搜索与之连通的游程,直到一个连通区域生成。在游程搜索过程中,在当前游程的相邻两行上,以其左端点为起始点分别向前向后进行连通游程的搜索;同时根据游程之间的位置关系对搜索策略进行优化,减少了重复搜索,提高了处理速度。该算法只需经过一次扫描图像,就能快速、准确地标记连通区域。在与已有算法的实验结果比较中,该算法具有较快的执行速度和较高的准确率,并且占用较少的内存,可以满足在施工现场中运动目标实时检测的需要。

**关键词:**运动目标;连通区域标记;二值图像

**中图分类号:** TP391; TP301 **文献标志码:** A

## Connected component labeling algorithm based on run recursive method

SHEN Qiao-nan, AN Xue-hui

(State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** A run-based recursive labeling algorithm was proposed based on the previous algorithms for binary images. The algorithm scanned the whole image level by level until a run unlabeled was found and the runs connected to it were searched based on recursion until a connected component was generated. During the searching process, the connected runs forward and backward from the start point of current run on its neighboring levels. Then the searching method was optimized according to the relationship between the two runs and the search time was reduced without searching repeatedly. The proposed algorithm can complete the labeling with only one time of scanning and the comparative experiments with traditional algorithms show that it is more efficient and occupies less memory. It can real-time detect the moving targets on construction sites.

**Key words:** moving target; connected component labeling; binary image

### 0 引言

在水利工程施工现场中安装摄像头,通过网络传输手段,使得在远方的用户通过计算机可以观看现场视频,并对现场情况进行远程监测和控制。为了实现施工现场的自动管理,考虑将数字图像处理技术引入视频监控系统,通过对视频图像的处理,得到施工现场运动目标的运行情况,从而实现对工程项目的质量和安全自动和实时的管理。在基于数字图像处理技术应用于施工现场质量、安全管理的多目标跟踪系统<sup>[1]</sup>中,连通区域标记算法是检测运动目标的关键步骤,也是系统开发中花费时间较多的步骤之一,它执行的效率决定了系统能否具有实时性。本文在分析传统的连通区域标记算法的基础上,提出一种基于游程递归的快速、有效的算法,并对其进行优化。经过大量图像的测试并与已有算法对比,结果表明,本文算法可以准确地标记连通区域,并且其处理速度能满足多目标跟踪系统实时跟踪目标的要求。

### 1 已有算法

连通区域标记是将二值图像中每个连通区域的所有像素赋予区别于其他连通区域的唯一的标记。传统的连通区域标记算法按其处理对象大致可以分为3类:基于像素的方法<sup>[2-11]</sup>、基于游程的方法<sup>[12-16]</sup>和基于轮廓的方法<sup>[17]</sup>。

基于像素的方法又可分为递归方法和等价对方法。递归方法的实现较简单,经过一次扫描图像,寻找未标记的前景像素点,赋予它一个标记,并以此作为种子节点,寻找与之连通的前景像素点作为新的种子点,并赋予它相同的标记,直到一个完整的连通区域生成;重复此过程,直到整幅图像完成标记。该方法可以用递归函数实现<sup>[2]</sup>,也可以用堆栈实现<sup>[3]</sup>,但当前景像素过多时,存储空间的问题就突显出来。等价对方法通过对图像的一次扫描,赋予每一个前景像素一个临时标记,同时生成等价标记表,根据等价标记信息,对图像进行二次或多次扫描,变更临时标记,直到没有需要变更的标记为止。后来,文献[4-11]在减少图像扫描次数以及对等价对的处理方法上提出了很多方法,从而提高了运行速度;也有人将像素进行分类,提出了基于游程的标记方法<sup>[12-16]</sup>和基于轮廓的标记传播方法<sup>[17]</sup>。

基于游程的连通区域标记算法有基于递归的堆栈实现<sup>[12]</sup>和等价对标记算法<sup>[13-14]</sup>。后者首先对二值图像进行游程编码,同样利用等价表来记录标记冗余。这种方法虽然减少了重复扫描连通区域的次数,但是在图像中连通区域数目很大或者连通区域形状很复杂时,标记冗余现象严重,等价表结构复杂,搜索等价表进行等价标记合并的算法耗时很长。文献[15]将动态数组引入到连通区域标记算法中,用动态链表存储相邻两行的游程信息,通过分析游程节点间的连通性,

收稿日期:2009-12-30;修回日期:2010-02-26。

作者简介:沈乔楠(1981-),女,吉林乾安人,博士研究生,主要研究方向:图像处理、工程管理; 安雪晖(1968-),男,湖北武汉人,教授,博士,主要研究方向:混凝土、工程项目管理。

将游程节点进行标记。该算法每次只处理相邻两行图像数据,只需一次扫描图像就能完成所有连通区域的标记;由于抛弃了等价表,回避了通过建立等价表来解决标记冲突的麻烦。文献[16]用两个一维数组代替动态数组记录游程的始末位置,从而减少了内存占用,提高了计算速度。

通过以上算法的分析以及对处理速度和存储空间优化,本文在已有算法<sup>[2-3,12]</sup>的基础上,提出了基于游程递归的连通区域标记算法。用一个游程代替游程表示  $n$  个像素,从而减少了存储空间和递归次数,提高了算法的执行效率。

## 2 本文算法

### 2.1 游程及游程的连通性

假设二值图像( $N \times M$ )中0为背景像素值,1为前景像素值。游程是图像中一行或一列中像素值连续为1的连通段的表示方法。本文中游程记为  $R[i] = \{X_s, X_e, level\}$ ,其中, $X_s$ 、 $X_e$ 分别表示  $level$  行中的游程  $R[i]$  的起始位置和终止位置。

游程连通性的判断:只需进行相邻两行  $level(>0)$  上的游程与上一行  $level-1$  的游程之间的连通性判断。本文运用八连通法则进行连通性判断。当  $level$  行的游程  $R[i]$  与  $level-1$  行的游程  $R[j]$  满足式(1)~(2)时,称游程  $R[i]$  与  $R[j]$  连通,否则为不连通,如图1所示。

$$R[i].X_s \leq R[j].X_e + 1 \quad (1)$$

$$R[i].X_e \geq R[j].X_s - 1 \quad (2)$$

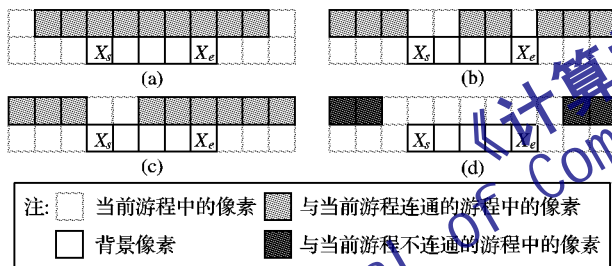


图1 基于八连通规则的游程连通性表示

### 2.2 算法流程

$label$  记录连通区域的标记,初始值为0;  $level$  初始值为0。

第1步 在当前行中寻找未标记过的游程,如果有,则记为  $\{X_s, X_e, level\}$ ,并且  $label$  加1,对该游程中的像素标记赋值为  $label$ ,进行第2~4步;如果没有,则进入第4步。

第2步 如果  $level > 0$ ,在上一行即  $level-1$  行寻找与当前游程连通的所有未标记过的游程,如果有,则对每一个游程中的像素标记为  $label$ ,同时,对每一个游程重复第2~3步;如果没有或者  $level = 0$ ,则进入第3步。

第3步 如果  $level + 1 < N$ ,在下一行即  $level + 1$  行寻找与当前游程连通的所有未标记过的游程,如果有,则对每一个游程中的像素标记为  $label$ ,同时,对每一个游程重复第2~3步;如果没有或者  $level = N - 1$ ,不进行任何操作。

第4步 如果当前行结束,则  $level$  加1(如果  $level = N$ ,则结束;否则进入第1步);如果当前行没有结束,进入第1步。

寻找与当前游程相连通的游程的过程,以上一行为例:以像素  $(X_s - 1, level - 1)$  为初始点(如图2所示A点),如果A为前景像素,则包含该像素的游程与当前游程连通,从该像素开始向前向后分别搜索到该游程的始末位置,如图2中游程1所示;接着,从游程1的末位置 + 2 的像素点(如图2所示的B

点)开始向后搜索,搜索起始位置  $\leq X_e + 1$  的游程,则该游程与当前游程连通,如图2中游程3与当前游程连通,而游程4不与当前游程连通。如果A点为背景像素,则从该像素开始向后搜索,搜索起始位置  $\leq X_e + 1$  的游程,则该游程与当前游程连通。同样地,可以获得下一行中与当前游程连通的游程。

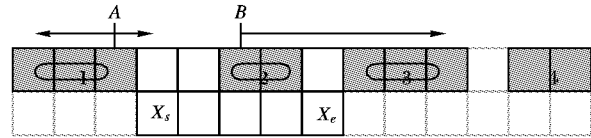


图2 搜索策略

这种搜索策略使得在进行游程递归查找的过程中,并不需要对当前游程所在行的相邻行上的所有像素进行遍历。

### 2.3 算法优化

在上述搜索策略中,需要对每一个游程所在行的相邻两行上的相关像素进行遍历,但当搜索到的游程  $R[i]$  与当前游程满足关系式(3)~(4)时,称游程  $R[i]$  被当前游程包含。这时,并不需要对游程  $R[i]$  所在行的上下两行都进行搜索。

$$R[i].X_s \geq X_s \quad (3)$$

$$R[i].X_e \leq X_e \quad (4)$$

如图3(a)所示,游程  $R[i]$  被当前游程包含,因此,对于游程  $R[i]$ ,根据八连通规则,在其下一行,除了当前游程与之连通之外,不可能再有其他游程与之连通,因此无需再在其下一行进行搜索;同样地,如图3(b)所示,对于游程  $R[i]$ ,则无需再在其上一行进行搜索与之连通的游程。这就避免了重复操作,减少了扫描次数,节省了递归搜索的时间。当图像中的连通区域形状比较规则,上下两行有包含关系的游程较多时,优化后的算法节省的运算量还是相当可观的。

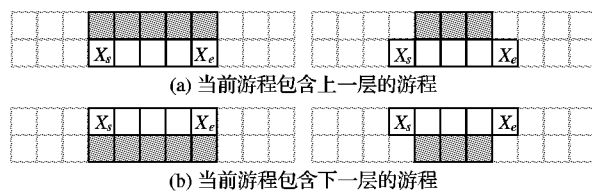


图3 游程间包含情形

## 3 实验结果与分析

为了验证本文算法的执行效率,对测试图像分别进行了基于像素的递归算法<sup>[2]</sup>(算法A)、基于游程递归的堆栈实现算法<sup>[12]</sup>(算法B)及本文算法进行了测试。算法均以VC++编写,在AMD Athlon 64 2.01 GHz,1.00 GB内存的平台下运行,执行时间取运行500次的平均时间,以ms为单位。图4给出了具有典型意义的几种图像的测试结果。实验结果表明,本算法的执行效率相对于算法A具有较大的提高;同时,在处理轮廓较复杂、连通区域个数较多的图像时,本文算法比算法B具有较高的执行效率;在游程较规则或者连通区域个数较少的情况下,本文算法与算法B有相当的执行效率。

测试图像1~4:图像1为8个随意分布的十字形,每个线条具有一定的宽度,连通区域不规则;图像2为皇冠图像,具有面积较大的连通区域,连通区域个数为9;图像3为字幅图像,无任何背景,连通区域个数为40;图像4为一页书的图像,布满文字,连通区域个数为1030。

对二值图像  $n \times n$ ,算法A以像素为处理对象,时间复杂度和空间复杂度都较高。算法B和本文算法以游程为处理对象,最多有  $n^2/4$  个游程,因此大大减少了内存空间的占用;但

算法B需一次将所有游程找出,然后进行比较判断,而本文算法在进行判断的同时找出了游程,比算法B更加节省了内存占用。

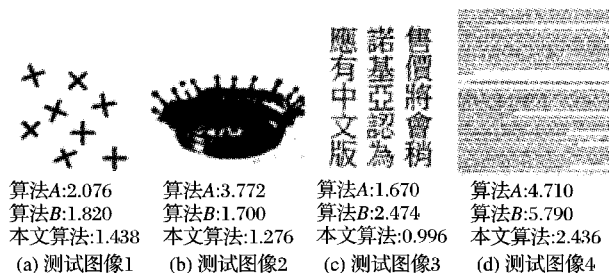


图4 二值图像连通区域标记算法结果比较

#### 4 结语

本文提出了基于游程递归的连通区域标记算法。实验结果表明,本算法与已有算法相比,具有较快的执行速度,可以满足实时性的需要。目前,本算法已经应用于施工现场的多目标跟踪系统中,可以实现运动目标(如车辆、施工人员)的实时跟踪。

#### 参考文献:

- [1] SHEN Q N, AN X H. A target tracking system for applications in hydraulic engineering [J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 13(1): 343-347.
- [2] 喻杰, 许化溪. 一种易于实现的适于细胞图像连通区域的标记算法[J]. 江苏大学学报: 医学版, 2005, 15(2): 152-155.
- [3] 陈柏生. 一种二值图像连通区域标记的新方法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(25): 46-47.
- [4] SUZUKI K, HORIBA I, SUGIE N. Linear-time connected-component labeling based on sequential local operations[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2003, 89(1): 1-23.
- [5] WU K, OTOO E, SHOSHANI A. Optimizing connected component labeling algorithms [C]// Proceedings of the SPIE Conference on Medical Imaging. San Diego: The International Society for Optical Engineering, 2005: 1965-1976.
- [6] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K. A linear-time two-scan labeling algorithm [C]// IEEE International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE, 2007: 241-244.
- [7] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K. An efficient first-scan method for label-equivalence-based labeling algorithms[J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 31(1): 28-35.
- [8] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K, et al. Fast connected-component labelling [J]. Pattern Recognition, 2009, 42(9): 1977-1987.
- [9] WU K, OTOO E, SUZUKI K. Two strategies to speed up connected component labeling algorithms [EB/OL]. [2008-10-10]. <http://www.escholarship.org/uc/item/5pc9s496?display=all>.
- [10] WU K, OTOO E, SUZUKI K. Optimizing two-pass connected-component labeling algorithms [J]. Pattern Analysis and Applications, 2009, 12(2): 117-135.
- [11] AIZAWA K, TANAKA S, MOTOMURA K, et al. Algorithms for connected component labeling based on quadrees [J]. International Journal of Imaging Systems and Technology, 2009, 19(2): 158-166.
- [12] 高红波, 王卫星. 一种二值图像连通区域标记的新算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(11): 2776-2778.
- [13] 蔡世界, 于强. 基于游程编码的连通区域标记算法优化及应用[J]. 计算机应用, 2008, 28(12): 3150-3153.
- [14] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K. A run-based two-scan labeling algorithm [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(5): 749-756.
- [15] 张二虎, 冯江. Blob分析中基于游程链的连通区域标记[J]. 应用科学学报, 2008, 26(5): 536-540.
- [16] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K. A run-based one-scan labeling algorithm [C]// Proceedings of the 6th International Conference on Image Analysis and Recognition. Berlin: Springer, 2009: 93-102.
- [17] CHANG F, CHEN C J, LU C J. A linear-time component-labeling algorithm using contour tracing [J]. Technique Computer Vision and Image Understanding, 2004, 93(2): 206-220.
- [8] NAGAI M, OYAMA-HIGA M, MIAO T. Relationship between image gaze location and fractal dimension [C]// IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Montreal: IEEE Press, 2007.
- [9] 赵健, 潘建寿, 陈光会. 小波分形结合在图像处理中的应用研究[J]. 计算机工程, 2005, 31(1): 29-30.
- [10] 谢永华, 傅德胜, 任卫华. 一种基于小波变换的图像分形编码压缩算法的研究[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(7): 840-842.
- [11] 高岚, 朱波华, 张卉. 基于分形小波理论的纹理分割研究[J]. 交通与计算机, 2008, 26(6): 96-99.
- [12] NOVIANTO S, GUIMARAES L, SUZUKI Y, et al. Multiwindowed approach to the optimum estimation of the local fractal dimension for natural image segmentation [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Kobe, Japan: IEEE Press, 1999, 3: 222-226.
- [13] 赵亦工, 朱红. 自然背景中人造目标的自适应检测[J]. 电子学报, 1996, 24(4): 17-20.
- [14] 王立地, 黄莎白, 史泽林. 基于小波和分形的海面红外小目标自动检测方法[J]. 激光与红外, 2004, 34(6): 481-483.
- [15] 黄斌, 彭真明, 张启衡. 基于增强分形特征的人造目标检测[J]. 光电工程, 2006, 33(10): 9-12.

(上接第1615页)

同加权系数所得F图的效果不同,如何选定自适应的加权系数,更利于ROI的提取,这也是进一步研究要解决的问题。

#### 参考文献:

- [1] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 (ITU-SC8), ISO/IEC FCD 15444-1, JPEG2000 Part I Final Committee Draft Version 1.0 [S]. ISO, 2000.
- [2] 张坤华, 杨烜. 基于分形特征的复杂背景下扩展目标检测[J]. 强激光与粒子束, 2009, 21(2): 217-220.
- [3] 董文明, 吴乐华, 姜德雷. 基于分形特征参数的目标边缘检测算法[J]. 光电工程, 2009, 36(6): 21-25.
- [4] 田杰, 陈杰, 张宇河. 基于小波变换及分形特征的目标检测与识别[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(1): 95-99.
- [5] ITTI L, KOCH C, NIEBUR E, et al. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [6] ITTI L, KOCH C. Computational modeling of visual attention [J]. Nature Reviews Neuroscience, 2001, 2(3): 194-230.
- [7] HAREL J, KOCH C, PERONA P. Graph-based visual saliency [EB/OL]. [2009-10-10]. <http://papers.klab.caltech.edu/300/1/543.pdf>.