

基于标号回传的二值图像连通体标记算法

周 跃^{1,2}, 闫 丰¹, 章明朝^{1,2}, 隋永新¹, 杨怀江¹

ZHOU Yue^{1,2}, YAN Feng¹, ZHANG Ming-chao^{1,2}, SUI Yong-xin¹, YANG Huai-jiang¹

1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 长春 130033

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039

1. State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

ZHOU Yue, YAN Feng, ZHANG Ming-chao et al. Algorithm for connected component labeling of binary image based on label transmitting. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(33): 153-155.

Abstract: A new method for connected component labeling of binary image is proposed. When scanning the input image the method transmits the label in target information structure into run-length structure, judges the connectivity between run-length, then transmits back the minimum of the labels between the run-length structures that are connected. So it can make sure that it has the same label between connected regions. The algorithm reduces the number of image scanning to one time and gets the information of connected region like area, perimeter and center of mass and so on. Compared with the traditional labeling algorithm, it uses less memory, realizes more easily and also can label more complex connected regions, thus can be used in detecting of infrared target.

Key words: binary image; connected components labeling; run-length

摘 要: 提出一种基于游程标号回传的二值图像连通体标记算法, 该算法以游程为处理对象, 将目标结构中的标号传播到游程结构中, 进行游程连通性判断, 将与当前游程连通的游程中最小值回传到对应的目标结构中, 确保在同一连通域中有相同的根标号, 进而完成二值图像标记。该算法对二值图像可以实现一次性标记, 同时完成连通区域的面积、质心等特征信息的提取。具有占用内存小、实现简单、能标记任意复杂连通区域的优点, 可用于红外弱小目标的检测。

关键词: 二值图像; 连通体标记; 游程

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.33.050 文章编号: 1002-8331(2009)33-0153-03 文献标识码: A 中图分类号: TN919.81

在目标检测与跟踪图像处理系统中, 需要对背景抑制、噪声剔除后得到的二值图像(Binary Image)进行候选目标特征信息的提取, 以便进行目标检测。而二值图像连通体标记算法则是目前应用广泛的一类特征提取算法, 该类算法在二值图像中连通区域贴上不同的标签值(Label)形成标记图像, 通过分析标签值可以方便地获取目标特征信息。二值图像标记是图像处理、模式识别、机器视觉等领域中最基本的算法, 相对于其他处理算法如噪声抑制、边缘检测、阈值分割等由于需要与邻域进行大量的比较运算, 往往占有更多的处理时间, 成为整个处理流程中的瓶颈。

目前文献中出现的二值图像标记算法大致可以分为四类: (1)像素标记法^[1-2]。该方法根据当前像素邻近像素(4 连通为左边及上边邻近像素, 8 连通为左、左上、上、右上邻近像素)标签值决定当前像素的标签值, 并记录冲突标记形成冲突表, 在第

二次扫描图像时将其改为正确的标签。(2)区域增长法^[3]。扫描二值图像中每一个像素点, 如该点未标记则将其压入堆栈并从该点反复标记其邻域, 直到堆栈为空。该算法会出现“1”反复扫描的情况。(3)轮廓跟踪法。扫描二值图像, 如发现未标记的点则跟踪连通区域边界直到回到该点。该方法可以分割相互镶嵌的连通体, 但如果出现中空时需要区分内外边界, 因此算法比较复杂。(4)基于游程编码的标记算法^[4]。游程是一种逐行存储目标特征信息的结构, 该方法首先对图像进行游程编码, 通过判断上下连续两行中游程之间的连通性, 编写标号冲突表, 扫描完图像后整理冲突表, 按照某种搜索算法得到标号等价表, 并随后修改标记图像。由于标记值冲突现象在图像处理过程中非常普遍, 实际的标号冲突处理算法比较复杂, 在一定程度上限制了该方法的应用。

在游程编码标记算法的基础上提出一种基于标号回传的

基金项目: 长春光学精密机械与物理研究所三期创新项目。

作者简介: 周跃(1983-) 男, 博士研究生, 主要研究方向为图像处理、模式识别、目标检测及跟踪; 闫丰(1975-) 男, 博士后, 主要从事信息融合技术研究; 章明朝(1982-) 男, 博士研究生, 主要从事 DSP 嵌入式系统开发方面研究; 隋永新(1970-) 男, 副研究员, 博士, 主要从事混沌保密通信及信息隐藏方面的研究工作; 杨怀江(1966-) 男, 研究员, 博士, 主要研究领域为信息安全与光学信息融合领域。

收稿日期: 2008-06-26 修回日期: 2008-08-01

二值图像连通体标记算法,该算法以游程为处理对象而不是单个像素点,所以其效率较像素标记法更高,并且通过在目标结构与游程之间的标号回传解决了标号冲突的问题,可以直接生成标号等价表,这样使其对于基于游程编码的标记算法更有优势。该算法只需对图像进行一次扫描就可以标记完整幅图像,占用内存小,如不必要可以不生成标签图像直接提取目标的特征量面积、质心、周长等,因此,该算法特别适合应用于 DSP、FPGA 等嵌入式系统。

1 二值图像标记算法

1.1 改进的游程结构

游程(Run-Length)表示二值图像行或列相同灰度级像素的最大序列,即在一个扫描行中的连通区域表示。在一般的游程编码中通常采用一个三元组表示,即起始坐标、终止坐标、长度。需要在游程与目标结构之间传递标号,故将标号域引入到游程结构中,同时将行(列)坐标添加到游程结构中以便计算质心等特征信息。故改进的游程结构为 $R(label, start, end, length, rowsum, colsum)$ 。

1.2 游程的连通性

二值图像 4 连通是指当前像素与其上下左右四个临近像素具有相同的灰度级,8 连通则还包括左上、左下、右上及右下四个位置的像素。而游程的 4(8)连通是指当前游程中至少有一个像素与另一游程中的像素有 4(8)连通的关系。图 1 中(a)、(b)分别表示游程 4 连通及 8 连通的关系,其中灰色表示游程,白色表示背景。



图 1 (a)4-连通



图 1 (b)8-连通

设有游程 A, B , A 连通及 8 连通判断规则如式(1)和式(2)所示。算法采用的为 8 连通规则。

$$(A.start \geq B.end) \cap (A.end \leq B.start) \quad (1)$$

$$(A.start \geq B.end+1) \cap (A.end \leq B.start-1) \quad (2)$$

1.3 基于标号回传的二值图像标记算法

在文中标号回传是指在标记过程中,标号在目标结构与游程之间根据一定规则来回传递。具体来说,当扫描到一段未标记的游程后,将其与邻近上一行内的游程进行连通性判断,传播与其连通游程最小标号到该游程中,同时将其其他游程所在的目标结构中该标号改为最小标号,也即是该最小标号回传到目标结构中去。通过标号回传保证在同一连通体内的目标结构有相同的根标号,一次扫描图像完成后通过合并具有相同根标号的目标信息结构快速提取目标特征量,同时生成标号等价表实现二值图像的标记,得到二值图像标签图像。

下面以提取二值图像面积及质心为例说明基于标号回传的二值图像标记算法的详细步骤。二值图像连通域的面积 $Area$ 是连通体内像素个数和,而质心可以通过式(3)实现特征提取。其中 x, y 分别表示连通域内的横、纵坐标, C 表示连通域。

$$X_c = \sum_{x \in C} x, Y_c = \sum_{y \in C} y \quad (3)$$

因此,定义 $T(forelabel, area, rowsum, colsum)$ 为目标信息结构,其中 $forelabel$ 表示该连通区域的根标号,需要在算法中不断修正, $area$ 表示该连通域面积, $rowsum$ 及 $colsum$ 为横坐标

及纵坐标之和,用于计算质心。设原始二值图像 $f(i, j)$, 标签图像为 $g(i, j)$, 算法分三步实现:

步骤 1 按光栅扫描顺序扫描整幅图像,以行为单位,分析每一行的游程编码,并根据游程连通性填充相应的目标结构,生成目标结构数组及中间标号图像 $m(i, j)$ 。

设 $Numtarget$ 表示在扫描图像时新出现的目标数量, $pTargetInf$ 为指针数组,指向程序中运行时申请的目标结构空间,二维数组 $EqualTable$ 则存储等价标号对。按从上到下,从左到右的扫描顺序扫描整幅图像 $f(i, j)$,当扫描到一个游程 A 后,填充该游程结构,并根据连通性规则式(2)与邻近上一行游程段进行比较,这时可能出现三种情况:

(1) 找不到匹配的游码段

认为 A 为新出现的目标中的游码段,申请新的目标结构空间,将其地址赋值给目标结构指针数据 $pTargetInf$, $Numtarget$ 累加 1, $forelabel$ 为 $Numtarget$, $area$ 被初始化为 A 的 $length$ 域, $rowsum$ 及 $colsum$ 则直接赋值为 A 中相应的域,同时将 $forelabel$ 赋值给 A 中的 $label$ 域,以便在下一行与该行游程连通性规则检查时传播根标号。同时还应对标签图像 $m(i, j)$ 相应游程置数值 $forelabel$ 。

(2) 与唯一游码段匹配

说明该游码段 A 为某一目标的一部分,设匹配游码结构为 B ,这时只需将 A 中相关信息添加到该目标信息中去即可。由 B 的 $label$ 域找到目前游码所属的目标结构 $MarchTargetInfo$,将 A 的 $length$, $rowsum$ 及 $colsum$ 分别累加到 $MarchTargetInfo$ 相应结构,同时将 B 的 $label$ 传播到 A 的 $label$ 域中去,确保在同一连通域中保持同一标号。

(3) 与两个或更多的游码段匹配

当 A 找到两个或更多的匹配游码结构 C_1, C_2, \dots, C_N 时,图像出现向上的开叉。这时遍历所有匹配游码 C_1, C_2, \dots, C_N 的 $label$ 域找出最小的 $label_{min}$,将 $label_{min}$ 传播到 A 的 $label$ 域,并存储 $(label_{min}, label_1), (label_{min}, label_2), \dots, (label_{min}, label_N)$ 到等价标号数组 $EqualTable$ 中,遍历整个目标结构如果其 $forelabel$ 域与 $EqualTable$ 数组中元素相等则将 $forelabel$ 域改为 $label_{min}$,该操作保证连通区域具有相同标号。标签图像 $m(i, j)$ 中相应游程标记为 $label_{min}$ 。

步骤 2 分析目标结构数组,合并连通目标结构,综合归纳目标结构信息。

设 $RootNum$ 表示根标号的数量,也即是真实连通域数量, $RootTargetInf$ 表示进行合并连通目标区域后根目标结构信息,利用指针 $pTargetInf$ 遍历第一步生成的目标结构,如发现该结构的 $forelabel$ 域与索引值不一致则说明结构不为根目标,根据 $forelabel$ 域找到该索引对应的目标结构后合并。如该结构的 $label$ 与索引值相一致则表示该结构为真实的目标结构,为其申请空间并赋值,同时 $RootNum$ 累加 1。

步骤 3 根据等价标号表 $EqualTable$ 扫描标签图像 $m(i, j)$,得到最后二值图像连通体标签图像 $g(i, j)$ 。由于在扫描过程中已经排除冲突关系,标号等价表中记录的全是根标号与等价标号的关系,不需要再进行标号等价判断,直接扫描标记图像 $m(i, j)$,将图像等价标号改为根标号即可得到 $g(i, j)$ 。实际上在一般的目标检测与跟踪场合,只需要得到目标的特征信息如质心、面积、周长等,并不需要生成标签图像,因此可以省略该步骤,减小处理时间以提高执行效率。

2 算法仿真

下面给出算法仿真示例, 图 2(a)所示二值图像中灰色代表目标灰度级 1, 白色表示背景灰度级 0, 该图像中代表了实际二值图像标记中所能遇到的情况。通过分析该图像以验证上述算法的正确性, 算法仿真的具体过程如下:

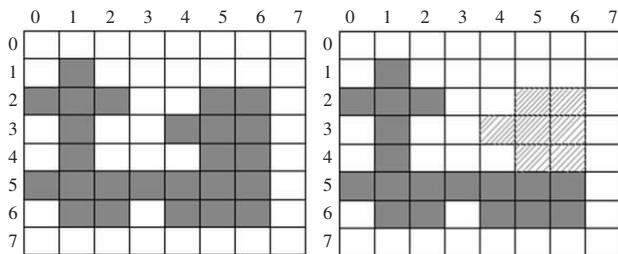


图 2 (a)二值图像

图 2 (b)一次扫描标签图像

(1)按光栅扫描顺序扫描图像, 发现第一个游程段标码为 $R_1(x, 1, 1, 1, 1, 1)$, x 表示该值未定, 同时申请目标存储空间, 将 R_1 中数据加入到目标结构, $NumTarget$ 累加 1, 得到目标信息结构 $T_1(1, 1, 1, 1)$, 同时将目标标号 1 传回到游码中得 $R_1(1, 1, 1, 1, 1)$ 。

(2)扫描第二行, 发现第一个游程 $R_2(x, 0, 2, 3, 3, 6)$, 将其与上一行中游程作连通性判断, 发现是上述算法第一种情况, 其与 R_1 连通, 于是将 R_2 中 x 改为 2, 同时将其加入 T_1 中, 得到 $T_1(1, 4, 4, 7)$, 该行还有另一游程, 同上可知得到游程 $R_3(2, 5, 6, 2, 11, 4)$, 由于没有与第一行的游程连通, 故得到目标结构 $T_2(2, 2, 11, 4)$ 。

(3)同样处理过程, 直到第 6 行, 发现游程 $R_6(x, 0, 6, 7, 21, 35)$, 与上一行中两个游程 $R_5(1, 1, 1, 1, 1, 4)$ 和 $R_4(2, 5, 6, 2, 11, 8)$ 都有连通关系, 此时出现一对多的情况。将 R_6, R_7 中较小值 1 作为 R_8 的标号。同时将 T_2 中 $forelabel$ 标号改为根标号值 1, 这时生成标号等价表(1, 2), 继续扫描完整幅图像。

(4)由指针数组扫描目标信息结构, 由于 T_1 和 T_2 都指向相同的根标号 1, 故合并目标信息结构得到真实目标结构信息 $RootT(1, 25, 82, 100)$, 故该连通域面积为 25, 质心为(3, 4)。

(5)此时标签图像如图 2(b)所示, 斜线表示标签 2, 灰色表示根标号 1, 由等价表(1, 2)合并直接可以得到真实的二值图像标签图像。

3 算法应用

图 3(a)、(b)分别为一幅战场监视红外图像及其二值图像, 使用 C 语言在 Windows 环境下编制程序进行了实际测试, 实际提取的目标特征信息如表 1 所示, 实践结果表明该算法能够快速、准确标记图像, 提取目标特征信息。该算法可以很方便地改为提取周长、最长轴等特征量。



图 3 (a)红外图像



图 3 (b)二值图像

表 1 标记结果

	面积	质心
目标 1	77	(301, 143)
目标 2	14	(192, 252)
目标 3	14	(280, 259)
目标 4	4	(406, 261)

4 结论

采用游标编码二值图像, 在分析过程中申请目标结构空间, 填充目标结构信息, 并把目标结构中的根标号传播到游程结构中, 根据游程之间的连通性再将连通游程中的最小标号也就是根标号回传到目标结构中, 使在同一连通域内的目标具有相同的根标号。在一次扫描完二值图像后, 扫描目标结构对具有相同根标号的目标结构信息合并, 实现了对任意形状的连通结构的信息提取。同时直接生成等价标号表, 实现对二值图像的标记, 得到二值图像标签图像。仿真结果表明, 该算法能一次性标记复杂的二值图像, 提取出目标的面积、质心等特征信息。截止至目前, 该算法已成功应用于实时目标的检测与跟踪系统中。

参考文献:

- [1] He Li-feng, Chao Yu-yan, Kenjiuzuki. A linear-time two-scan labeling algorithm[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(5): 749-756.
- [2] 张修军, 郭霞, 金新宇. 带标记矫正的二值图像连通域像素标记算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(2): 197-202.
- [3] Shim Jae-chang, Dorai C. A generalized region labeling algorithm for image coding, restoration and segmentation[C]//Image Processing, ICIP 99, 1999, 1: 46-50.
- [4] Dillencourt M, B Samet H, Tamminen M. A general approach to connected component labeling for arbitrary image representations[J]. J ACM, 1992, 39(2): 253-280.
- [5] 张恒. 一种新的红外二值图像递归标记算法[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 30(6): 946-949.
- [6] 张桂林, 陈益新, 曹伟恒, 等. 基于跑长码的连通区域标记算法[J]. 华中理工大学学报, 1994, 22(5): 11-14.
- [7] Lumiar Shapiro L, Zuniga O. A new connected components algorithm for virtual memory computers[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1983, 22: 287-300.