

文章编号:1671-6833(2006)02-0094-04

# 一种分层并行迭代式链码跟踪直线提取算法

陈玉梅<sup>1</sup>, 余洪山<sup>2</sup>, 贺攀峰<sup>3</sup>

(1.河南高速公路发展有限责任公司, 河南 郑州 450003; 2.湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082; 3. 湖南工学院电气与信息工程系, 湖南 湘潭 411101)

**摘要:**提出了一种分层并行迭代式链码跟踪直线提取方法.该方法首先基于分层并行结构,将图像按层次分割成若干独立的半径逐级递增的子区域;在第一层的处理中,基于现有链码跟踪法,在跟踪起始点的选择、链码跟踪处理、直线段提取等方面进行了相应改进,并行实现各子区域线段的提取;在较高层子区域,根据包含的次级子区域的直线段信息,引入四类非重叠窗口标记处理,进行连接与合并的高效迭代处理,实现图像直线段的获取.该方法具有很好的实时性和检测精度,并且保持了直线的端点、长度等信息.实验结果证明了该方法的有效性.

**关键词:**直线检测;链码跟踪;Hough变换;并行层次结构;迭代处理

**中图分类号:** TN 911.73; TP 391.4

**文献标识码:** A

## 0 引言

直线检测作为图像处理领域的传统研究课题,已取得大量的研究成果.目前对于直线的检测处理主要可分为全局法和局部法两类<sup>[1]</sup>.对于全局法,比较典型的为 Hough 变换及其改进算法<sup>[2,3]</sup>.与全局法相对应,人们在基于局部特征提取直线方面也作了大量的研究<sup>[4,5]</sup>,可划分为两类,链码跟踪法和直线模板法.

我们深入研究了现有的直线检测算法的原理和特点,提出了一种基于图像的边缘梯度信息的分层并行迭代式链码跟踪提取直线的方法,该方法具有很好的处理速度和直线检测精度,并且保持了直线的端点、长度等信息.

## 1 分层并行迭代式链码跟踪法提取直线

### 1.1 分层并行迭代式处理结构

边缘图像被分割为若干个独立的子像素区域,从而线段的连接、合并可以分别在各子区域内并行进行,通过采用多线程处理技术或并行处理器可大大减少处理时间.如图1所示,进行第一层扫描时,子区域大小可以设置为  $32 \times 32$  域;在处理结果的基础上,引入第二次迭代,子区域大小可以设置为  $64 \times 64$ .对二级子区域的处理,只需进

行其包含一级子区域之间的线段连接、合并处理操作.基于此原理,可根据图像大小引入多级子区域,直至结束.在直线段的连接、合并处理中,可以分级采用不同的连接阈值进行处理,从而最大程度避免直线段的丢失.

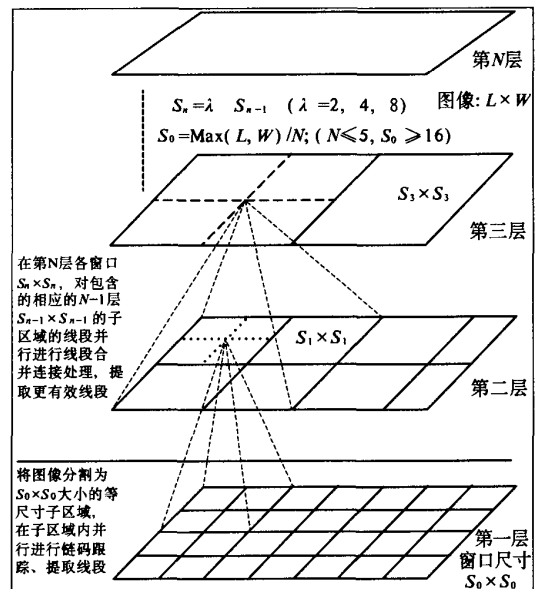


图1 分层并行迭代式处理原理图

Fig.1 The scheme of iterative chain-code tracing algorithm with parallel hierarchy

收稿日期:2006-01-12;修订日期:2006-03-18

基金资助:国家自然科学基金资助项目(60375001)

作者简介:陈玉梅(1968-),女,河南南阳人,河南高速公路发展有限责任公司工程师,主要从事交通机电工程、通讯万方数据 监控等方面的研究.

## 1.2 链码边界跟踪处理

所谓边界跟踪就是任选一起始点,在四邻域或八邻域内逐点跟踪边界,同时输出每一步的移动方向,直到不能移动,从而结束一次跟踪.在本文中,链码跟踪在8邻域内进行.由于对于一段直线段而言,它在链码上表现为在一定范围内只出现一个方向,或两个方向交替出现,如图2所示.因此根据这一原则可进行直线段的提取<sup>[6~8]</sup>.

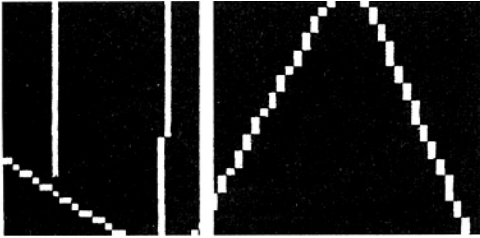


图2 链码跟踪提取直线原理

Fig.2 The principle of chain-code tracing Algorithm

### 1.2.1 起始点选择

为避免造成线段的丢失并提高后续的线段连接、合并处理的可靠性本文根据边缘点连接数选取起始点.边缘点的连接数定义为8邻域上相邻接的边缘点数目.连接数为0的点是一个孤立点,应该剔除;连接数为1的点是端点.为2的点是一个边缘上的点(但不是端点),不应该作为一个起始点,除非这是一个闭合边缘.为3的点表示为一个交点,可如此分析下去.连接数不为0和2的边缘点都可以作为起始点,此外还应任选一个连接数为2的点作为起始点,来得到闭合边缘的链码,这样保证不丢失闭合边缘线段的提取.

在文中,起始点选择的具体程序如下:①首先剔除连接数为0的孤立点;②选择连接数为1的端点,进行直线段的遍历操作,并将遍历过的边缘点进行标记处理;③从未遍历的边缘点中选择连接数大于2的边缘点为端点,用以遍历线段组成的闭合区域,并将遍历过的边缘点进行标记处理,直至没有连接数大于2的未遍历边缘点为止;④从未遍历的边缘点中选择连接数为2的边缘点为端点,用以遍历线段组成的闭合区域,并将遍历过的边缘点进行标记处理,直至没有连接数为2的未遍历边缘点为止.通过上述方案选择起始点,根据直线段对应的像素点的相邻性,可实现将全部边缘点的快速穷尽非重复选择,从而最大程度上保证了算法的可靠性.

### 1.2.2 链码跟踪

链码跟踪扫描处理的执行过程如下:

1) 选取一个起始点,并给出该点坐标.

(2) 将此点的值置零,以防止重复跟踪.

(3) 寻找下一点.在8邻域内进行边缘点链码跟踪检测,初始跟踪方向为方向0,如果为1,则置为当前点,并输出此点方向,并标记已跟踪标志.否则按照逆时针方向进行链码跟踪检测.

(4) 当前起始点链码跟踪结束,输出链码跟踪序列,判断整幅图像是否已经全面扫描,如是则执行步骤5,否则执行第一步.

(5) 输出所有起始点对应的跟踪序列.

经过上述跟踪处理后,任意起始点对应的链码跟踪序列为

$I: SP, D_1, Len_1, C_1, A_1, EP_1, D_2, Len_2, C_2, A_2, EP_2, \dots, D_n, Len_n, C_n, A_n, EP_n, EndTag.$

其中:  $SP(X, Y)$  为跟踪起始点坐标;  $D_i (i = 1, \dots, n)$  为跟踪方向;  $Len_i (i = 1, \dots, n)$  为持续长度;  $C_i (i = 1, \dots, n)$  为当前跟踪方向持续长度内对应的各边缘点灰度平均值;  $A_i (i = 1, \dots, n)$  为当前跟踪方向持续长度内对应的各边缘点梯度方向角的平均值;  $EP_i(X, Y) (i = 1, \dots, n)$  为当前跟踪方向结束时的边缘点坐标;  $EndTag$  为结束标志.

由于链码跟踪过程提取直线段信息只需在局部区域内进行连通区域统计,其计算复杂度仅取决于区域内线段的数目,因此计算复杂度和空间复杂度非常低.

### 1.2.3 直线段提取规则

首先引入三个阈值:长度阈值  $LTh$ ,表示欲检测长度大于  $LTh$  的直线段;角度阈值,表示如果两个边缘点共线,梯度方向角最大允许差值;灰度阈值  $CTh$ ,表示如果两线段共线,灰度值的最大允许差值.

在实际应用中,受噪音的影响,链码中常出现一些小的扰动.这些小的干扰虽然只持续很少的几个像素,但对检测结果可能有较大的影响,因此必须予以消除.为了从前一步获取的统计数据  $I$  中检测直线,消除由于干扰引起的误差引入以下两个判据.

**判据1:**  $I$  中某一  $D_i$  的对应长度值  $Len_i > LTH$  时,认为存在一条直线  $L$ ,其起点可由  $EP_i(X, Y)$ ,  $D_i$  和  $Len_i$  得到,其方向与链码方向  $D_i$  一致,长度为  $Len_i$ ,这是单一跟踪方向情况.

**判据2:** 两个跟踪方向交替出现.如果在  $I$  中存在  $D_i$  到  $D_j$  的一段链码,满足:

**条件1:** 这段链码中只有两个方向  $D_i$  到  $D_j$  交替出现;

**条件2:**  $D_i$  到  $D_j$  为最相邻的两个链码方向;

条件 3:  $D_i$  到  $D_j$  之间的对应长度值  $Len_m (m = i, \dots, j)$  的累计和  $\sum_{m=i}^j Len_m > LTh$ ;

条件 4:  $D_i$  到  $D_j$  之间对应的  $A_m (m = i, \dots, j)$  之间的最大偏差不超过  $ATH$ ;

条件 5:  $D_i$  到  $D_j$  之间的对应灰度值  $C_m (m = i, \dots, j)$  的最大允许偏差小于  $CTH$ 。

利用上述判据分别对各起始点对应的跟踪序列进行直线段检测处理,可以得到候选直线段集合.任意直线段的表示结构为:

$L_i: \text{struct} \{ Spoint(x, y), Epoint(x, y),$   
 $Len, Angle \} (i = 1, 2, \dots, n)$

其中,  $Spoint(x, y)$ ,  $Epoint(x, y)$  分别表示直线段的起始点信息;  $Len$  表示直线段的长度信息,  $Angle$  表示直线段对应的梯度方向角度信息;  $n$  表示检测出的直线段的总数目。

在直线段提取中,灰度阈值  $CTH$ 、长度阈值  $LTh$ 、角度阈值的选取,利用神经网络对图像样本库进行学习,实现自动获取和调整<sup>[9]</sup>。

### 1.3 线段连接、合并处理

对于直线段的连接与合并处理,要求满足以下约束条件:

(1) 空间相邻度约束 两线段端点必须在一定邻域范围内相接,表示为  $nbh \times nbh$ 。

(2) 共线约束 两线段的方向角相差必须小于共线角阈值  $ATH$ 。随着迭代次数的增加,直线角度描述越来越精确,可逐渐将阈值调低,以保证直线连接的精确度,并避免丢失连接。

(3) 对比度灰度值约束 要连接的两条线段,其灰度差要求不超过给定的灰度差阈值。

(4) 重叠约束 要实现连接的两直线,其重叠部分长度值要小于给定阈值  $OTH$ ,为应用于不同直线长度的约束,一般按照两直线中较长线段长度的一定比例进行设置,即  $OTH = \alpha * \text{Max}(Len_i, Len_j)$ ,其中  $\alpha$  为比例因子,一般设置为  $15\% \leq \alpha \leq 25\%$ 。

(5) 映射距离约束 对于要实现连接的两直线段,最为接近的两直线段点分别到另一直线的映射距离都应该小于给定映射距离阈值,表示为  $PTH$ 。

线段的连接与合并处理过程即包含了直线段的提取过程.在线段连接处理过程中,为寻找与特定直线段  $e$  可进行连接的候选线段集合,要求对线段  $e$  所在的像素子区域内进行搜寻,并依次验证上述 5 个约束条件.当子区域较大时 ( $> 64 \times$

64),则连接阶段会在不满足空间相邻的线段之间消耗较多的计算时间。

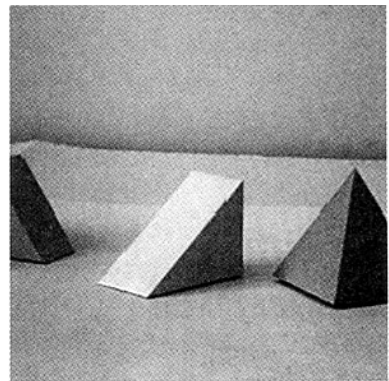
### 1.4 四类非重叠窗口标记处理

为减少检查时间,提高检测效率,将空间图像以  $40 \times 40$  尺寸大小划分四类空间不相交二维窗口集合,然后将图像中的所有直线段按照四类窗口分别进行标记处理.对于任何一类窗口,其中每一类的各个窗口均为不重叠,但是这四类窗口在空间上是相重叠的.将这四类窗口合并后,即构成整幅图像中的每层所有子窗口相重叠的区域。

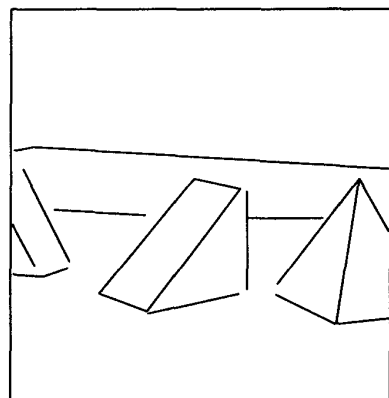
当线段分别在四类窗口中实现标记处理后,在直线的连接与合并处理中,对于特定直线段  $e$ ,只需要在四类窗口中寻找与线段  $e$  在同一窗口中的直线段进行检测处理,从而大大减少了搜寻空间,提高了搜寻效率,节省了计算时间。

## 2 实验结果分析

如图 3 所示,为证明方法的有效性,基于 matlab6.5 平台,笔者选取一幅尺寸为  $256 \times 256$  的 256 级灰度图像进行处理.根据算法原理,分四层



(a)源图像



(b)检测直线段信息

图 3 源图像及检测的直线段信息

Fig.3 Detection results of presented method

进行并行迭代处理.其他主要参数设置如下:线段长度阈值 LTH 在第一层选择为 5,在第四层选择为 10,中间层选择为 8;角度阈值 ATH 在第一层选择为 25;在中间层选择为 20;最高层选择为 15;灰度阈值 CTH 在第一层设置为 30,其他设置为 15;相邻度阈值 nbh 在第一层为 2,其他各层分别为 3,4,5.共检测直线段 19 条,耗时 0.156 s.从实验结果看,该算法具有较好的实时性,准确度和检测精度,可推广应用于机器视觉系统中直线段的实时检测中.

### 3 结论

作者在传统链码跟踪法的基础上,在跟踪起始点的选择、链码跟踪处理、直线段提取等步骤中进行了改进,并引入分层并行迭代式处理结构,提出了高效实用的并行直线段检测算法.该算法避免了 Hough 变换法检测速度慢和传统链码跟踪法精度不高的缺陷.实验表明本文提出的算法具有较好的实时性,准确度和检测精度,为机器视觉中的直线检测提供了一种有效的方法.

### 参考文献:

- [1] SONAK M, HLAVAC V, BOYLE R.图像处理、分析与机器视觉[M].第二版.艾海舟,武勃.译.北京:人民邮电出版社,2002.
- [2] KASSIM A, TAN T, TAN K H. A Comparative study of efficient generalized hough transform techniques[J]. Image and Vision Computing, 1999, 17(10):737 ~ 748.
- [3] 孙丰荣,刘仁心.快速霍夫变换算法[J].计算机学报,2001,24(10):1102 ~ 1109.
- [4] SHPILMAN R, BRAILOVSKY V. Fast and robust techniques for detecting straight - line segments using local models[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(9):865 ~ 877.
- [5] 史册,徐胜荣,荆仁杰,等.实时图像处理中一种快速的直线检测算法[J].浙江大学学报(工学版),1999,33(3):482 ~ 486.
- [6] CZERWINSKI R N. Line and boundary detection in speckle images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(12): 1700 ~ 1714.
- [7] YUAN J, SUEN C Y. An optimal algorithm for detecting straight lines in chain codes[A]. In Proceedings of 11th International Conference on Pattern Recognition [C]. 1992. 692 ~ 695.
- [8] LU C C, DUNHAM J G. Highly efficient coding schemes for contour lines based on chain code representations[J]. IEEE Transactions on Communications, 1991, 39(10): 1511 ~ 1514.
- [9] 王少波,柴艳丽.神经网络学习样本点的选取方法比较[J].郑州大学学报(工学版),2003,24(1):63 ~ 65.

## An Iterative Chain - code Tracing Algorithm With Parallel Hierarchy for Line Segment Detection

CHEN Yu-mei<sup>1</sup>, YU Hong-shan<sup>2</sup>, HE Pan-feng<sup>3</sup>

(1. Henan Highway Development Corporation Limited, Zhengzhou 450003, China; 2. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 3. Department of Electrical and Information Engineering, Hunan Institute of Technology, Xiangtan 411101, China)

**Abstract:** This paper presents an iterative chain code tracing method with parallel hierarchy for line segment detection. According to this approach, image is divided into some disjoint independent blocks with radius increased with the level in hierarchy structure. In the first level process, based on traditional chain - code tracing algorithm, processes such as selection of starting point, chain - code tracing, line segment extraction and so on, are improved to accomplish line segment extraction on the sub - block. Consequently in higher level, registration of four sets of non - overlapping windows covering the image in an overlapping manner is performed for high efficiency line segment extraction involving only linking and combination of the line segments in sub - block of lower level. This method has good time efficiency and high resolution while line endpoints, segment length and other line segment information are well retained. The effectiveness of the proposed method is demonstrated through practical experiments.

**Key words:** line detection; chain - code tracing; Hough transform; parallel hierarchy; iterative processing