

文章编号 1004-924X(2009)03-0662-07

基于块遍历的直线边缘特征提取

张建伟^{1,2}, 张启衡¹

(1. 中国科学院 光电技术研究所国家 863 计划光束控制重点实验室, 四川 成都 610209;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了能够快速而精确地提取图像中扩展目标的直线边缘特征, 提出了一种基于块遍历的直线提取方法。该算法先通过块遍历整个图像, 然后按照直方图把块分类并进行二值化, 再通过链码得到相同单像素直线的多个块表示, 然后通过这些直线的斜率和截距进行分类, 最后对分类结果求均值。仿真结果表明, 该方法不仅能正确地提取直线特征且提取的直线可以达到亚像素精度, 其角度定位精度超过 0.01 rad。从运算量和复杂性来看, 其综合性能要优于经典霍夫变换方法, 可以得到很好的直线提取结果, 并为硬件实现打好基础。

关键词: 直线检测; 特征提取; Freeman 链码; 二值化; 亚像素

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

Line-edge feature extraction based on ergodic block

ZHANG Jian-wei^{1,2}, ZHANG Qi-heng¹

(1. *National 863 Program Beam Control Laboratory, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: In order to extract the line-features of extended object more quickly and more accurately, a line-edge extraction method is proposed based ergodic block. With proposed algorithm, a whole image is traversed by blocks, then the blocks with double peaks is obtained according to the property of gray-histogram. After processing those blocks by gray threshold and chain-edge extraction, the blocks without line characters are eliminated, the others with line characters are sorted by slope and intercept. Finally, the lines are got by computing the mean of similar slopes and intercepts. Experiment results show that proposed algorithm can extract line in subpixel precision and the precision of angle is higher than 0.01 rad. The complexity and computation of proposed algorithm is more better than that of Hough transform, which provides a way for hardware-implementation.

Key words: line detection; feature extraction; Freeman chain code; digitalization; sub-pixel

1 引 言

在图像识别中,边缘特征的提取是非常重要的环节^[1],然而边缘特征中的直线特征却有着更特殊的地位,它是一种简单而重要的特征,是形状识别的基础和核心。快速精确地检测和提取一幅图像中的直线特征在医学、工业中的目标定位和识别中也非常重要。正是由于直线检测在各个领域的重要性,许多研究人员在直线检测研究上投入了大量的精力。当前比较成熟的经典算法是 Hough 变换法^[2],该方法在检测不连续的直线时有很好的健壮性,但缺点是计算量大、实现相对比较复杂且不利于硬件实现。虽然后来又出现了一些关于 Hough 变换的改进方法^[3-4],但其复杂性并没有得到显著的改观。当然,除了 Hough 变换外也有许多其他直线检测方法^[5-6],如把链码用于提取和检测直线,但该方法的实现也是以边缘图像为前提的,如果边缘提取本身精度差,即会直接影响后面的直线提取精度;通过使用小邻域内直线提取的点的拟合来得到亚像素的直线位置也是一种直线提取方法。使直线提取精度精确到亚像素很有意义且应用前景广阔^[7]。

本文针对目前 Hough 变换提取直线计算量大,计算复杂的问题提出了一种快速而简便的方法。该方法利用一个一定大小的块在指定的图像区域进行遍历,在遍历过程中,每个块都要通过二值化、链码等预处理,并根据一定的约束条件对块进行分类消除非直线的块;然后将得到的直线段进行模式分类;最后,通过分类得到的直线参数得到直线的亚像素位置。相比于普通的霍夫变换方法,该方法无论从计算量还是算法的复杂程度来看都要小得多。

2 图像特征的链码表示

在介绍链码的概念前,首先需要了解邻接与邻域的概念。在数字图像中,每个点都有 8 个相邻的像素,这就涉及到了 4 邻接和 8 邻接两个概

念,其中 4 邻接是指一个像素的水平和垂直方向的 4 个邻点;而 8 邻接主要是指在 4 邻接的基础上再加上 4 个对角线上的相邻像素。相应的,4 邻接与 8 邻接所构成的区域叫做 4 邻域与 8 邻域。

下面主要介绍 8 邻接链码,在数字图像中,边缘是由一连串的离散点组成的,两点之间的连接有 8 个方向分别是:0、45、90、135、180、225、270、315°。为了方便起见,通常可用 0、1、2、3、4、5、6、

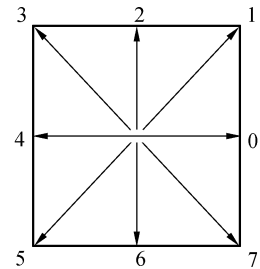


图 1 8 方向的 Freeman 链码符号表示

Fig. 1 Vector signs Freeman chain code in eight directions

7 来表示它们,这样连接起来的数列一般被称作 Freeman 链码,如图 1 所示。为了便于数学描述,可以给每个方向的链码定义一个矢量 L_i ,其中:
 $L_0 = (1, 0), L_1 = (1, 1), L_2 = (0, 1), L_3 = (-1, 1), L_4 = (-1, 0), L_5 = (1, -1), L_6 = (0, -1), L_7 = (1, -1)$ 。如果 P_0 表示起点坐标,那么第 i 个链码的坐标可表示为下面的形式:

$$P_i = P_0 + \sum_{j=1}^i L_{a_j} \quad (1)$$

以图 2 为例:

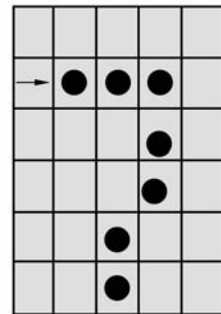


图 2 数字 7 的数字图像

Fig. 2 Digital image of figure '7'

其链码从箭头为起点可以表示为:0066566。

3 分块直线检测算法

在检测直线前,首先要选择移动块的步长,而这个步长的选择又取决于实际图像中尺度的大小,由于本文的前提是扩展目标,因此根据仿真的经验,一般取 24×24 到 16×16 之间比较合适。然后将块在兴趣区域遍历,遍历的方法一般可以是平铺块即遍历的时候块与块之间没有重叠,反之则是叠加块遍历。相比较而言,由于叠加块的检测次数多,所以叠加块要比平铺块精度高,但随之计算量也增加很多。

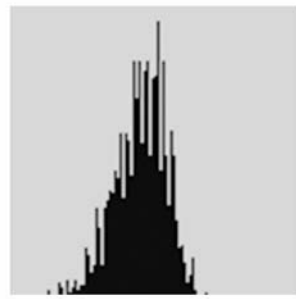
3.1 直线检测的预处理

在确定了块的大小之后,要做的就是使这个块在整个图像或者感兴趣的区域进行遍历,而对于块在每一个像素上链码提取直线一般都是采取先计算梯度的大小,然后根据阈值得到边缘上的点,但这样往往得到的不是单像素的,因此计算量相对较大。在这里,不计算梯度而是根据直方图对块区域图像进行二值化,从而为下一步链码提取单像素边缘提供了非常好的基础。

从上面的论述中可以看到在存在扩展目标的灰度图像中,所谓的预处理主要是通过直方图来二值化,这就要求考虑直方图的分布情况。经常会出现以下几种直方图的情况(1)区域块内灰度为单峰,如图 3(a)所示;(2)区域块内灰度为双峰,如图 3(b)所示;(3)区域块内灰度为多峰,如图 3(c)所示。

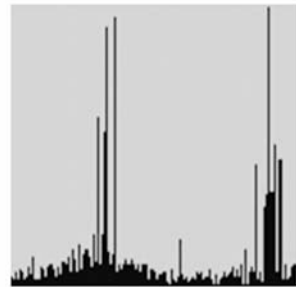
相对情况(1),虽然出现频率比较高,但因其单峰特性对于后面的链码边缘提取意义不大,这样的块应该被放弃;情况(2)是双峰的直方图,它在灰度图像中出现频率最高,也是最有意义的,它的二值化可以把图像分为两部分,并产生明显的边缘;情况(3)是多峰的情况,在灰度图像中,其出现频率比较低,尤其是三峰以上的,在扩展目标中,尺度较大情况下块处理时,它的出现概率更是微乎其微,因此也可以采取放弃处理,这样对直线的检测结果也不会带来很大的影响。

由于单峰和多峰的特点和发生频率等因素,下面主要考虑双峰的二值化,这个过程本身是属于图像分割范畴。但在分割范畴内一般更多用于目标的分割,而在本方法中,要提取的是直线边缘区域直线特征,因此更多的处理情况是图像块区



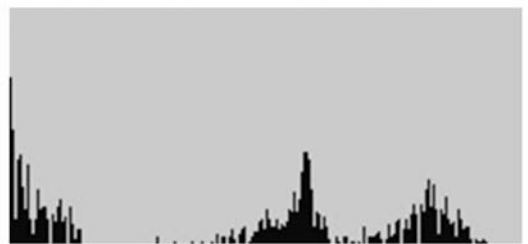
(a) 单峰情况

(a) Single-peak histogram



(b) 双峰情况

(b) Double-peak histogram



(c) 三峰情况

(c) Three-peak histogram

图 3 三类基本直方图

Fig. 3 Three kinds of gray-histograms

域内以直线为界的两个部分。

在图像分割中,对图像的二值化分割一般有两类方法:一类是利用直方图,求其双峰之间的谷点;另一类是利用数理统计中的概率密度概念,求出分割错误概率最小的灰度值。在这里由于前面要对直方图进行分类,所以显然采用第一类方法更具有继承性。但该方法不适用于块区域内灰度双峰差距太大的情况,在本文的方法中,双峰差距太大会被当作单峰处理而放弃该块。

如果用 $N \times N$ 表示总像素数, I_{ij} 表示每个像

素的灰度值, k 为灰度级, n_k 为 k 级灰度的像素数, 那么二值化阈值可以表示如下:

当 $m < \sum_{i=0}^{i=N} \sum_{j=0}^{j=N} I_{ij} / N^2$ 时, 直方图最大值为

n_{k1} ;

当 $m > \sum_{i=0}^{i=N} \sum_{j=0}^{j=N} I_{ij} / N^2$ 时, 直方图最大值为

n_{k2} ;

那么阈值

$$Th = \frac{n_{k1} + n_{k2}}{2}. \quad (2)$$

由上面的公式得到的阈值可以将灰度块进行二值化, 通常为了防止噪声可以在二值化后进行 1~2 次中值滤波, 以消除一些小毛刺和小孤立点。

3.2 链码的边缘提取

按照 1 中所描述的图像链码表示方法, 在经过上述块区域的直方图二值化预处理后, 从区域块中最靠近边缘的地方选取一个为 0 的或者为 255 的像素, 并要求其 8 邻域内至少有一个像素是 255 或 0, 如果用 P_a 表示 8 邻域点, P_0 为起始点, I 表示灰度, 则有:

$$P_a = P_0 + L_a, \quad a = 0 \cdots 7, \quad (3)$$

且当满足:

$(I_{P_0} = 255 \text{ 或 } I_{P_0} = 0)$ 且 $(I_{P_a} = 0 \text{ 或 } I_{P_a} = 255)$ 时, 改此点为链码有效点。

以这样一个像素为起始点开始链码连接, 按照公式(1)可以得到一组单像素的边缘点, 但是在实际提取中, 一个块区域内往往不只有一条链码边缘, 可能出现两条边缘, 也可能出现一条边缘和一个斑点等等, 对此情况的处理可采取两种方法:

方法一: 设 P_1 是块区域内第一个链码生成的边缘, $P(i, j)$ 是块区域内边缘点, 那么当 $P(i, j) \notin P_1$, 丢弃该块, 从而保证块内特征点的唯一性, 为下一步直线拟合减少计算量。由于块区域在图像内是遍历的, 因此即使丢弃此块, 也不会影响该特征在其它块区域内的提取。

方法二: 在区域块内, 对链码得到的特征点通过区域增长进行划分, 在下一步拟合时分别进行拟合, 但这样会由于遍历带来的特征重复性导致

计算量的增加。

3.3 链码点的直线拟合与分类

通过上面的链码点的提取后, 即可以根据每个点的坐标按照以下的直线拟合公式进行拟合:

$$\begin{cases} bN + k \sum x_i = \sum y_i \\ b \sum x_i + k \sum x_i^2 = \sum x_i y_i \end{cases}, \quad (4)$$

经过上面的公式计算就可以得到该直线的斜率 k , 截距 b 。

但是仅仅经过拟合并不能得出直线, 该块领域中的特征就是直线, 因此需要一个判据来判断, 这里用所有链码点到拟合直线的距离和:

$$SUM = \sum_{i=0}^N |P_i - l|, \quad (5)$$

设定一个阈值 T , 如果 $SUM < T$, 认为该边缘不是直线, 否则就认为是直线, 在这个过程中如果也可以直接实现有两个以及两个特征以上的块邻域的去, 即同时实现了上述方法一, 然后即可以求出斜率和截距来为下面的直线分类作基础。

在遍历了整个图像区域后, 可以得到 N 个直线段, 然后根据每个直线段的斜率和截距, 将直线进行聚类分类。如果设 N_1 是某一聚类的元素数, 则该直线 $k_i (i=1, 2, \dots, N_1)$ 是属于该直线的斜率, $b_i (i=1, 2, \dots, N_1)$ 是该直线的截距, 那么得到的最后斜率为:

$$k = \sum_{i=1}^{N_1} k_i / N_1, \quad (6)$$

截距为:

$$b = \sum_{i=1}^{N_1} b_i / N_1. \quad (7)$$

实验证明该方法同样有很好的修复直线断裂的能力。

4 实验与分析

在这个部分, 将使用上面叙述的方法对一些真实的图像进行直线特征提取来验证该方法在工程上的实用性。这里以一幅自制测试图像和两幅真实图像来验证。图 4 是一幅由画图板画出的 256×256 的圆角矩形二值图像。

从上面的结果不难看出, 在圆角的边缘由于

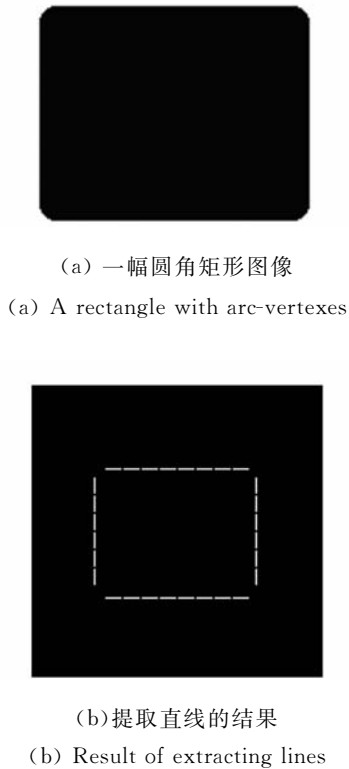
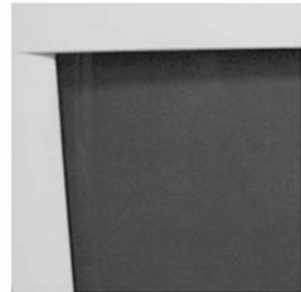


图 4 圆角矩形图像及其直线特征提取结果
Fig. 4 Line extraction of rectangle with arc-vertices

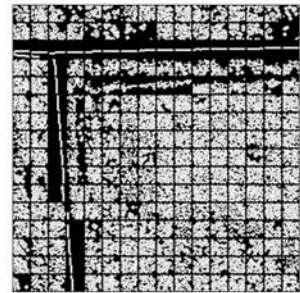
它的点代入公式(5)中的 SUM 大于某一阈值,所以已经被删除,剩余的即为图像中的直线特征部分。图 5(a)是一幅从计算机显示器图片中裁剪出来的 256×256 的真实图像,为了方便从处理的图像中显示出结果,该图像处理过程中采用的是 16×16 平铺块,而没有采用叠加块。图像按照本文所叙述的方法来处理可得到图 5(b),把 5(b)中的块进行分类可以得到 5(c)的结果。因此不难看出,该方法可以有效地提取出图像中的直线特征,同时去除了带有曲线和没有直线特征的块,但是由于本方法采用的尺度不是自适应的,导致一些小的直线段还是未能提取出来。这也是本方法的一个缺陷。

在此基础上,再用剩下的块的直线斜率和截距进行分类以得到直线的参数,按照公式(6)~(7)可以完成亚像素的直线特征提取。在实验中,共得到两条直线,第一条直线得到 12 个线段也就是 12 个斜率和 12 个截距,另一条直线有 11 个线

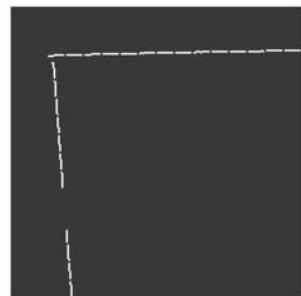
段也就有了 11 个斜率 11 个截距;这样即可以得到第一条直线的斜率是 -10.817 ,截距是 584.467 ;另一条直线斜率为 0.0175 ,截距为 213.347 。到此即精确而快速地提取出了两条直线的位置且是亚像素级的。



(a) 一幅显示器的图像
(a) A real image of monitor



(b) 分块链码的结果
(b) Result of chain code in every block



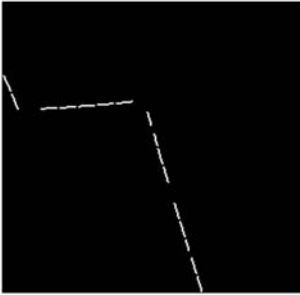
(c) 直线提取的结果
(c) Result of line extraction

图 5 显示器局部的直线提取
Fig. 5 Line extraction of local monitor image

为了更好地检验该方法的实用性,图 6 又给出了相对比较复杂的一幅实际图像的仿真结果。



(a)一本放在桌子上的书
(a)A book on the desk



(b) 直线提取的结果
(b)Result of line extraction

图6 一本书的直线提取
Fig.6 Line extraction of a book

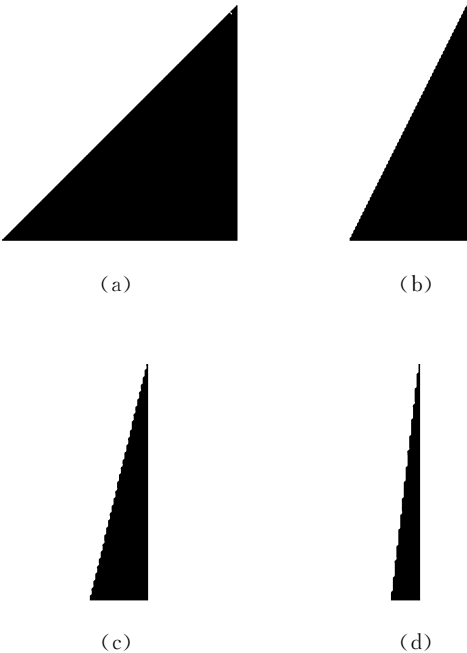


图7 一组边缘为不同倾角的直线特征的测试图像
Fig.7 A group of line-edge feature images with different obliquities

为了测量该方法的精度,用图7中的几个图像作为测试图像。

从精度上看,表1得出其倾角的精度可以达到 0.01 rad 。从计算量和复杂程度上来看,同一幅 256×256 的图像在 Pentium 2.8G 的计算机上,VC 程序运行时间为几十毫秒,而 Hough 变换大概需要几百甚至上千毫秒,可见该方法在运算量上大大优于 Hough 变换。本方法无需普通的边缘检测,而是采用简单的二值化、像素链码和直线拟合来得到边缘,因此与 Hough 变换要变换到极坐标再进行计算相比,其计算过程要简化很多,而且得到的结果也比较理想,可以得到比较准确的直线的亚像素位置,更重要的是这样更宜于硬件的实现和工程上的应用。

表1 图7图像中倾角的测量结果(单位:rad)

Tab.1 Measurement of obliquities in Fig.7(Unit:rad)

序号	实际倾角(rad)	测量倾角(rad)	误差(rad)
a	0.785	0.785	0
b	1.107	1.104	0.003
c	1.326	1.323	0.003
d	1.443	1.434	0.009

5 结论

从上述的理论和实验可以看出,在图像的直线特征提取中,该方法不仅能够简单而快速地得到亚像素的直线位置,其角度定位精度超过 0.01 rad ,而且其运算量也比霍夫变换法要小得多。但是由于方法本身没考虑尺度变换的自适应性,只用了固定大小的块,因此在提取直线时,会造成某些块中的直线过短而导致这一段直线无法提取。不过由于直线本身是由很多直线段共同得到最终结果,因此不会影响到直线的正常提取,所以可以说该方法是一种很好的直线提取方法。

参考文献:

- [1] 付树军, 阮秋琦, 穆成坡, 等. 基于非线性扩散滤波的边缘检测和图像测量[J]. 光学精密工程, 2007, 15(2):289-293.
FU SH J, RUAN Q Q, MU CH P, *et al.*. Edge detection for image measurement based on nonlinear diffusion filtering[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 289-293. (in Chinese)
- [2] ILLINGWORTH J, KITTLER J. A survey of the Hough transform [J]. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1988, 44:87-116.
- [3] AGGARWAL N, KARL W C. Line detection in images through regularized Hough transform [J]. *IEEE Image Processing*, 2006, 15(3):873-876.
- [4] PERANTONIS S J, VASSILAS N, TSENOGLOU T, *et al.*. Robust line detection using weighted region based Hough transform [J]. *Electronics letters*, 1998, 34(7):648-650.
- [5] 鲁光泉, 许洪国, 李一兵. 基于链码检测的直线段检测方法[J]. 计算机工程, 2006, 32(14):1-3, 10.
LU G Q, XU H G, LI Y B. Line segment detection based on chain code detection [J]. *Computer Engineering*, 2006, 32(14):1-3, 10. (in Chinese)
- [6] 于新瑞, 王石刚, 王高中, 等. 数字图像直线特征的亚像素位置检测[J]. 光学技术, 2004, 30(2):138-141.
YU X R, WANG SH G, WANG G ZH, *et al.*. Subpixel location detection of line feature in digital image [J]. *Optical Technique*, 2004, 30(2):138-141. (in Chinese)
- [7] 何博侠, 张志胜, 戴敏, 等. 基于序列局部图像的高精度测量[J]. 光学精密工程, 2008, 16(2):367-373.
HE B X, ZHANG ZH SH, DAI M, *et al.*. A high-precision dimension measurement method based on sequential partial images [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(2):367-373. (in Chinese)

作者简介:



张建伟(1980—),男,博士研究生,主要从事目标检测、识别与图像处理的研究。E-mail:zjw75094@163.com

导师简介:



张启衡(1950—),男,研究员,博士生导师,主要从事目标探测,跟踪及其系统方面的研究。E-mail:qhzhang@ioe.ac.cn

●下期预告

复杂环境下的车牌定位及目标真实性验证

王 枚^{1,3}, 苏光大², 王国宏¹

(1. 海军航空工程学院 电子信息工程系, 山东 烟台 264001;

(2. 清华大学 电子工程系, 北京 100084; 3. 烟台职业学院 图像处理研究所, 山东 烟台 264670)

提出一种融合颜色和边缘特征、并进行目标真实性验证的车牌定位算法,解决了复杂环境下车牌定位困难的问题。车牌具有固定的颜色搭配和丰富的字符边缘,融合二者的定位算法可提取出所有候选目标。利用车牌伴生与互补特性进行目标真实性验证,实现带反馈的定位,提高定位准确度,适用于复杂环境下目标数量、类型不确定的车牌目标检测。对复杂环境下获取的 981 幅彩色图像进行实验,实验结果表明,车牌目标定位准确率超过了 99%,验证了算法的有效性。