

一种检测图像直线倾斜角度的新算法

徐兴东¹ 程立²

(1 中南民族大学 实验教学中心, 武汉 430074; 2 中南民族大学 计算机科学学院, 武汉 430074)

摘要 为了更加快速地检测直线的倾角, 提出了一种新的检测方法. 该方法对细化后的直线轮廓进行遍历, 计算直线上点的方向码的平均值, 并加入误差补偿, 最终获取直线的倾斜角度. 试验结果表明: 使用文中方法检测到的角度误差很小, 而且检测所需要的时间与直线的倾角范围无关.

关键词 倾角检测; 细化; 8邻域; 遍历; 方向码

中图分类号 TP391.1 文献标识码 A 文章编号 1672-4321(2014)04-0090-04

A New Algorithm for Skew Angle measurement for Lines

Xu Xingdong¹, Cheng Li²

(1 Center of Experiment and Teaching, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China;

2 College of Computer Science, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

Abstract In this paper, a new algorithm used to measure the skew angle of lines is proposed. In the algorithm, the average value of direction code is computed after traversing the thinned skeleton of a line, then an error compensation is added to the average value, the final result is the skew angle of the line. At last the test proves the error of skew angle of lines measured by the algorithm to be very small, and the measuring time is independent of the skew angle range and detection precision of lines.

Keywords skew angle measurement; thinning; eight neighborhood; traverse; direction code

在图像处理中, 通常使用 HOUGH 变换检测直线的倾斜角度. HOUGH 变换的基本思想是利用平面空间和参数空间的点-线的对偶性, 将平面空间的直线上的点变换到参数空间, 得到直线的表达式^[1-2]. 使用 HOUGH 变换检测直线倾角, 具有很强的抗干扰性, 能检测出不连续的直线和具有弯曲变形的直线的倾角. 该种算法实际上是一种试探的算法, 在一定倾角范围内, 检测有没有一定角度的直线出现, 并统计落在该直线上的点数. 很明显, 由于要探测多种可能, HOUGH 变换算法计算量大, 特别是在直线可能出现的倾角范围很大, 并且对直线倾角检测精度要求较高时, 必须在很大的范围内进行探测, 需要更多的计算时间. 同时, 对于 HOUGH 变换来说, 还需要比较大的存储空间来存储各种探测直线上的点数.

在很多应用中, 需要能快速检测出直线的角度. 在这里, 采取的方法是首先对直线进行细化, 然后找

到直线的端点, 由端点开始沿着直线进行遍历, 记下前进的方向码. 遍历完毕后, 计算方向码的平均值, 并进行修正, 即可检测出准确的直线的倾角.

1 方向码与角度的关系

在处理中, 首先要对直线图像进行细化, 即得到直线的轮廓, 通过一些方法很容易得到直线边缘的轮廓^[3]. 对于连续的直线, 细化后的骨架也是连续的. 根据直线上点的 8 邻域状况, 很容易找到一条直线的起点^[4]. 在此主要考虑的是黑点(背景为白色) 则一个黑点的 8 邻域如图 1 所示. 其 45° 以内的细化直线如图 2 所示.

其中 P 为直线上的黑点, $0 \sim 7$ 为点 P 的 8 邻域, 很明显, 如果邻域 0 为黑点, 则 P 和 0 点连线为 0° , 1 为黑点则为 45° . 称 n 为点 P 的方向码, 可知方向码 n ($n=0 \sim 7$) 与角度 α 关系为: $\alpha = 45n$.

收稿日期 2014-03-21

作者简介 徐兴东(1959-) 男, 高级实验师, 研究方向: 计算机网络与网络安全, E-mail: 664543171@qq.com

基金项目 中央高校专项资金资助项目(CZY12017)

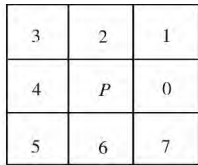


图 1 点 P 的 8 邻域

Fig. 1 Eight neighborhood diagram of point P

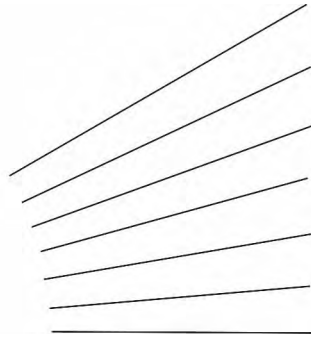


图 2 45° 以内的细化直线
Fig. 2 Lines thinned in 45°

2 直线的角度检测

对于细化后的直线,其端点的 8 邻域中只有一个黑点,依此可以找到直线的起点.要检测出整条直线的倾斜角度,可以从某一端点开始进行遍历,在遍历过程中,记下所有点到下一点的方向码,然后用方向码的总和除以总点数,即可得到直线倾角的大致角度.我们在这里使用该方法以 5° 为间隔检测了 0 ~ 90° 的直线,其数据如表 1 所示.

表 1 直线的实际值和检测值

Tab. 1 The real and estimate angle value of lines

实际角度/(°)	测量角度/(°)	点数	误差/(°)
0	0	254	0
5	3.93	252	-1.07
10	7.92	250	-2.08
15	12.12	245	-2.88
20	16.38	239	-3.62
25	20.93	230	-4.07
30	25.98	220	-4.02
35	31.59	208	-3.41
40	37.85	195	-2.15
45	44.75	180	-0.25
50	52.15	195	2.15
55	58.63	208	3.63
60	63.82	220	3.82
65	69.07	230	4.07
70	73.81	239	3.81
75	78.06	245	3.06
80	82.08	250	2.08
85	86.09	253	1.09
90	90.00	254	0

依照表 1,图 3 给出了检测角度和误差的曲线图.

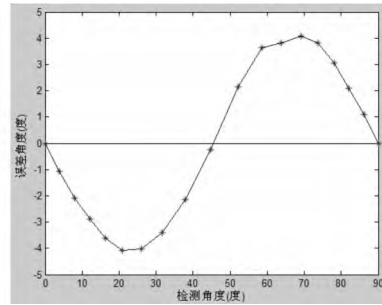


图 3 误差-测量角度曲线图

Fig. 3 Error-angle graph

很明显,误差和测量角度间的关系近似于正弦关系.按照表 1 的数据进行正弦曲线的拟合,将测量的角度加上拟合后正弦的相反数即为补偿.图 4 为拟合后的曲线.按照拟合的曲线,补偿之后的直线测量角度为:

$$\alpha' = \sum n / N, \quad (1)$$

$$\alpha = \alpha' + 4.20 \sin(4\pi\alpha' / 180), \quad (2)$$

式中 n 为直线上所有点相对于上一点的方向码, N 为总点数, α 为修正后的检测角度.

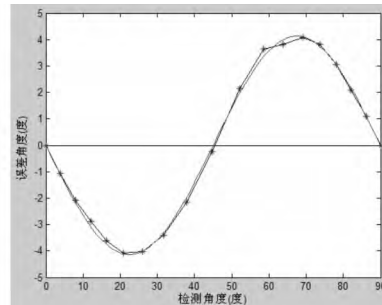


图 4 拟合后的误差-测量角度曲线图

Fig. 4 Error-angle fitting graph

3 补偿的理论依据

在此讨论 0 ~ 45° 的范围,其余范围同理.在 0 ~ 45° 的范围内的直线,细化后,轮廓上的点至下一点(从左至右,从下到上)的方向码只有两种情况,即 0 和 1,如图 2 所示.设所有方向码为 0 的点(正右方)总数为 n_0 ,所有方向码为 1 的黑点(右上角)的总数为 n_1 ,且直线上点的总数为 N (不计起点),则有 $N = n_0 + n_1$;按照方向码均值求的角度为:

$$\alpha' = (45 \times n_1 + 0 \times n_0) / N = (45 \times n_1) / N, \quad (3)$$

按照反正切求的角度应为:

$$\alpha = \text{atan}(n_1 / N) \times 180 / \pi, \quad (4)$$

则其误差为:

$$err = 45 \times n_1/N - \text{atan}(n_1/N) \times 180/\pi. \quad (5)$$

由图2知,补偿的正弦规律函数在测量角度为 $0 \sim 90^\circ$ 即为一个整周期,故补偿函数的幅值表达式为:

$$A = \frac{45n_1/N - \text{atan}(n_1/N) \times 180/n}{\sin(4 \times 45n_1/N \times \pi/180)}, \quad (6)$$

对此表达式,使用 Matlab 从总点数 $N = 10$ 到 $N = 10000$, n_1 从 0 到 N (即角度从 $0 \sim 45^\circ$) 进行计算,可求出 A 介于 4.1873 和 4.2207 之间,变化很小,取最大值和最小值的均值 4.2040,作为补偿函数的幅值,即可得到误差很小的直线倾斜角度.将此补偿幅值作为公式(2)中的参数,并以此作为最终的直线倾角检测角度,在设计 VC 检测程序中进行检测,能获得非常精确的直线倾角.

4 异常处理

在直线的细化中,可能出现异常的情况,考虑连续的 3 个黑点,一共有 4 种情况,如图 5 所示.其中 (a)、(b) 中 3 个点应该在一条水平线上,(c)、(d) 中的 3 个点应该在一条竖直线上.

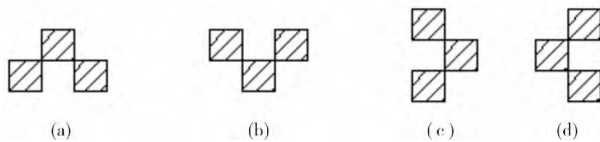


图5 细化后的异常情况

Fig. 5 Abnormal conditions diagram after thinning process

对于图 5(a)、图 5(b),遍历直线的方向有从左到右和从右到左两种方式.当采取从左至右遍历时,图 5(a) 的方向码为 1 和 7,图 5(b) 为 7 和 1,其和为 8,而实际应该为 0 和 0,显然有较大误差.若采用从右至左的方向,则图 5(a)、图 5(b) 的方向码分别为 3 5 和 5 3,其和与实际值 4 4 之和是相同的.而对于图 5(c)、图 5(d) 无论是采用从上至下还是从下至上的方向进行处理,方向码之和和正常情况都是相等的.很明显,对于图 5(a)、图 5(b) 两图,当采用从左至右的方向遍历时,由于按图(1)图像中任一点 P 右端 3 个邻域点的方向码分别为 1 0 7,而点 P 的上侧、左侧和下侧相邻的 3 邻域中,中间点均为两边点的平均值,所以不用进行处理.综上所述,当出现图 5 中图 5(a) 和图 5(b) 两种情况时,需进行特别的处理,将其变为实际的方向码.

5 时间复杂度分析

本算法相对于 HOUGH 变换,在时间复杂度和空间复杂度上均具有明显的优势.以图形上某一条具有 N 个点的直线为例,若采用 HOUGH 变换检测直线角度,需首先预设直线倾角范围,并设定角度探测步长,也就是检测精度.假设角度范围为 $[\theta_1, \theta_2]$,探测步长为 $\Delta\theta$,则采用 HOUGH 变换时需完成的循环次数为:

$$T_H(N) = N \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta\theta}, \quad (7)$$

而采用本算法,最坏情况下循环次数为 $8N$,平均循环次数 $4N$,即每个点在其 8 邻域中找其下一点的方向码.采用 HOUGH 变换时,假设当直线倾角范围为 $[-45^\circ, 45^\circ]$ 检测步长为 0.5° ,则需循环次数为 $180N$,很明显本算法处理的循环次数大大低于 HOUGH 变换.并且采用 HOUGH 变换时,每次循环需计算所探测角度的正弦和余弦,还需实现两次乘法和一次加法,而本算法只需在循环中完成一次加法.可见本算法在时间复杂度上明显低于 HOUGH 变换,并且检测时处理时间和直线的倾角范围及检测精度无关,只与直线上的点数成线性关系.

6 结果与讨论

按照遍历直线轮廓,求出各点到下一点的方向码的平均值,并做修正后,可以获得直线的准确的倾角.相对于 HOUGH 变换,本方法计算量小很多;而相对于求反三角函数的方法,本方法不需要讨论角度的范围.表 2 为经过修正后的直线的测量角度和实际角度,可见经过补偿后,检测的角度和直线的实际角度非常接近,误差很小.而且使用该方法检测直线的角度,既可以遍历到直线的另一端点结束,也可以只遍历一定的点数,检测所需要的时间与直线的倾角范围无关.当然,本算法只能适用于连续直线的情况,对于断续直线,本算法则不适用^[5].而且,在使用算法前,首先必须对直线进行细化处理,或者是单像素的直线边缘,其处理情况和图 2 类似,只是不同角度的直线,方向码不同,所以文中未给出更多的实验图例.

表 2 直线的实际角度值和修正后的检测角度值

Tab. 2 The real and estimate angle after correction of lines

实际角度/(°)	测量角度/(°)	误差/(°)	误差率/%	点数
0	0	0	0	254
5	5.05	0.05	1	252
10	10.09	0.09	0.90	250
15	15.21	0.21	1.40	245
20	20.14	0.14	0.70	239
25	25.04	0.04	0.16	230
30	29.98	-0.02	-0.07	220
35	34.91	-0.09	-0.26	208
40	39.82	-0.18	-0.45	195
45	44.82	-0.18	-0.40	180
50	50.18	0.18	0.36	195
55	55.27	0.27	0.49	208
60	59.83	-0.07	0.12	220
65	64.96	-0.04	0.06	230
70	70.07	0.07	0.10	239
75	75.00	0	0	245
80	79.91	-0.09	-0.11	250
85	84.97	-0.03	-0.04	253
90	90.00	0	0	245

参 考 文 献

[1] 肖志涛,国澄明,孟翔宇. 基于 Hough 变换的倾斜文本图像的检测[J]. 红外与激光工程,2002,31(4):315-317.

[2] 赵小川,罗庆生,陈少波. 改进型图像中的直线快速检测[J]. 光学精密工程,2010,18(7):1654-1660.

[3] 杨威,郭科,魏义坤. 一种有效的基于八邻域查表的指纹图像细化算法[J]. 四川理工学院学报,2008,21(2):61-63.

[4] 张晓青,王国文,曹海云,等. 基于细化的手写汉字的笔段提取方法[J]. 哈尔滨工业大学学报,1999,31(5):107-110.

[5] 程立,王江晴,田微,等. 手写体女书文字规范化处理程度研究[J]. 中南民族大学学报:自然科学版,2012,31(1):93-96.



(上接第 89 页)

[2] Fei Su ,Liwen Xia ,et al. Evaluation of recording factors in EEG-based personal identification: A vital step in real implementations [C]// IEEE. International Conference on Systems ,Man and Cybernetics. Istanbul: IEEE ,2010: 3861-3866.

[3] Hideaki Touyama ,Michitaka Hirose. Non-Target Photo Images in Oddball Paradigm Improve EEG-Based Personal Identification Rates [C]//IEEE. 30th Annual International IEEE EMBS Conference. Vancouver: IEEE , 2008: 4118-4121.

[4] Koles Z J ,Lind J C ,Soong A C K. Spatio-temporal decomposition of the EEG: a general approach to the isolation and localization of sources [J]. Electroenceph clinical Neurophysiol ,1995 ,95(4) : 219-230

[5] Hugo Larochelle ,Yoshua Bengio , et al. Exploring Strategies for Training Deep Neural Networks [J]. Journal of Machine Learning Research ,2009 ,10(1) : 1-40.

[6] Hinton G E ,Salakhutdinov R R. Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks [J]. Science ,2006 ,313(5786) : 504-507.

[7] Mitchell B ,Sheppard J ,et al. Deep Spatiotemporal

Feature Learning with Application to Image Classification [C]//ICMLA. Ninth International Conference on Machine Learning and Applications. Washington: ICMLA ,2010: 883-888.

[8] Dong Yu ,Hinton G ,et al. Introduction to the Special Section on Deep Learning for Speech and Language Processing [J]. IEEE Transactions on Audio ,Speech , and Language Processing ,2012 ,20(1) : 4-6.

[9] 程海英,杨仲乐. 与选择性注意字符的细微结构相关的早内源性成分[J]. 华中师范大学学报:自然科学版 ,1997 ,31(3) :299-303.

[10] 官金安,王艳凤,陈亚光. 特征筛选对脑-机接口信号单次提取精度的影响[J]. 华中师范大学学报:自然科学版 ,2006 ,40(2) : 193-196.

[11] 官金安,陈亚光. 脑控双页虚拟键盘的设计与性能分析[J]. 中国临床康复 ,2006 ,10(9) : 124-126.

[12] 官金安,荆汉娜,李娜. “模拟阅读”脑-机接口信号的核 Fisher 分类[J]. 中南民族大学学报:自然科学版 ,2013 ,32(2) : 87-91.

[13] Chang C-C ,Lin C-J. LIBSVM: a library for support vector machines [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology ,2011 ,2(3) : 1-27.