

# 一种改进的 Hough 变换直线检测算法

朱芳芳, 顾宏斌, 孙 瑾

(南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

**摘要:**为了能有效解决 Hough 变换的计算量大的问题,文中提出了一种基于直线局部结构特征的 Hough 变换改进的直线检测算法。该算法根据 Freeman 准则分析了直线上基元的特征信息,通过图像上邻近的同类基元的倾斜角约束基元上像素点的极角范围,减少每个点的计算次数,在保持精度的同时,提高直线检测的速度,在有噪声的情况下,该算法相对标准 Hough 变换算法可以提高到 6 到 7 倍。

**关键词:**直线检测;Hough 变换;基元

**中图分类号:**TP391

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2009)05-0019-04

## A Line Detection Algorithm Based on Improved Hough Transformation

ZHU Fang-fang, GU Hong-bin, SUN Jin

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** In order to effectively solve the problem of decreasing computation in the process of using Hough Transform(HT) to extract straight line, an improved HT algorithm method is presented based on the local characteristics of the straight line. According to Freeman Criteria, the improved method analyzes elementary line segments structure of the straight line, and defines the scope of polar angle of the points on elementary line segments by computing the tilt angle of the straight line determined by the two adjacent and congeneric elementary sine segments, and then decreases the computing times of every point. Pointing to the image containing noise, the testing data shows that velocity of the improved algorithm is 6~7 times as fast as the standard one, while the precision is kept.

**Key words:** line detection; Hough transform; elementary line segments

## 0 引言

在计算机视觉领域,直线或线段的检测是一个非常重要的过程,是模式识别等工作中的一类典型的任务。如在摄像机标定过程中,很多物体具有直线轮廓,检测并定位这些直线轮廓,从而定位目标,可以为进一步进行目标识别和分析提供条件。在众多的直线检测方法中,Hough 变换是最常用的方法之一<sup>[1]</sup>,其优点在于算法稳定性高,抗噪性能好,但缺点是计算量和存储空间太大<sup>[2]</sup>。为了减小哈夫变换的计算量并提高哈夫变换的速度,长期以来研究人员采用了各种手段对 Hough 变换检测方法进行改进。最可行的方法是用专用的硬件进行计算,如文献[3]中介绍的 L64250 专用哈夫变换处理器能在 5.12ms 内完成一帧 256×256 图

像的处理。文献[4]中利用图像点的梯度信息缩小 HT 的计算量,从而提高了运算速度。文献[5]提出了将整个图像分成多个子块的分级快速哈夫变换算法。

文中的算法思想不同于文献[3],具有算法层次上的并行性,相对硬件的实现方法而言有较强的灵活性和可移植性;和文献[4]不同之处在于并非以点为单位而是以基元为基本单位缩小点的极角范围;和文献[5]相比较,文中的算法通过提取基元的信息从总体上减少了总的输入量。

## 1 标准 Hough 变换

### 1.1 标准 Hough 变换原理

Hough 变换是从二维空间到参数空间的一种映射,对于直线变换,这种映射表现为从二维空间上的某点到参数空间上的某条曲线的对应关系,由数学对偶性原理知二维空间上的点的共线性对应于参数空间上曲线的共点性,以此为依据来提取直线的相关参数。其原理如图 1 所示,其映射关系表达为公式:

$$\rho = x \cos \vartheta + y \sin \vartheta, \rho \geq 0, 0 \leq \vartheta < 2\pi \quad (1)$$

收稿日期:2008-08-17

基金项目:国家自然科学基金委员会与中国民用航空总局联合资助项目(60776812);民航总局科技基金资助项目(E9905-MH)

作者简介:朱芳芳(1983-),女,硕士研究生,研究方向为图形图像处理等;顾宏斌,博士生导师,研究方向为航空器仿真、虚拟现实技术、图像处理等。

其中  $\rho$  为  $l$  到原点的距离,  $\vartheta$  为  $\rho$  与  $x$  轴的夹角。

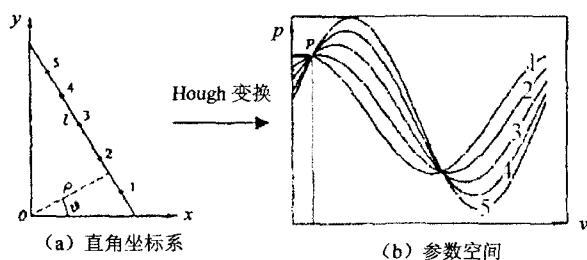


图 1 直线检测的 Hough 变换原理

## 1.2 Hough 变换实现方法

(1) 将参数空间量化成  $m \times n$  个单元, 并设置累加器矩阵  $Q_{m \times n}$  ( $m$  为  $\vartheta$  的等份数,  $n$  为  $\rho$  的等份数);

(2) 给参数空间中的每个单元分配一个累加器  $Q(i, j)$ , 并置累加器的初始值为零;

(3) 取出二维空间直角坐标系中的点  $(x_i, y_j)$  代入式(1), 并以量化后的  $\vartheta$  值计算出  $\rho$ ;

(4) 在参数空间内将  $\rho$  和  $\vartheta$  所对应的累加器单元加 1, 即  $Q(i, j) = Q(i, j) + 1$ ;

(5) 经过(3)和(4)两步遍历完直角坐标系中的所有点后, 检验参数空间中每个累加器的值, 值最大的累加器单元所对应的  $\rho$  和  $\vartheta$  为直角坐标系中直线方程式在参数空间的映射参数。

通常哈夫变换处理的直线检测图通常是二值边缘图或者是经过细化处理后的二值图像, 假设一幅二值边缘图包含  $m$  个像素点, 角度变换步长为  $s$  弧度, 那么该幅图像对应的哈夫变换次数为  $2\pi m/s$ , 其乘法运算次数为  $4\pi m/s$ , 加法运算次数为  $2\pi m/s$ , 所以要增加哈夫变换的运算速度可以减少参与运算点的个数  $m$ , 减小极角  $\vartheta$  的变化范围, 或者增大角度的变化步长  $s$ 。变化步长  $s$  增大会影响直线检测的精度, 在保证精度的前提下只能从参与运算的点的个数和角的运算范围这两方面来提高哈夫变换的速度。

## 2 基于主基元的直线检测算

### 2.1 基于 Freeman 链码的直线特征分析

计算机处理的图像是经过采样、量化等数字过程后形成的离散图像, 离散空间中的直线具有连续空间中直线所不具备的一些特征。Freeman 总结了这些特征并对如图 2 所示的 8 个方向进行编码, 指出了数字直线的链码所遵循的三条原则, 即 Freeman 准则<sup>[6]</sup>:

- (1) 一条数字直线最多包含两个相邻方向的码值;
- (2) 两个码值之间总有一个单独出现;
- (3) 单独出现的码值尽可能均匀分布在整条链码中。

直线上一个连续像素的组合称为一个基元, 通过

某种准则合并基元, 就可以得到完整的直线<sup>[7~10]</sup>。直线上主方向上的基元称为主基元, 并将直线的倾斜角约定在区间  $[-\pi/2, \pi/2]$ , 根据 Freeman 准则, 以直线的主方向分类, 所有直线可被分成四大类。第一类: 直线的主方向上链码表现为 0 或 4, 称直线的主基元为行基元, 定义该类直线的倾斜角范围为  $(-th, 0] \cup [0, th)$ , 如图 3(a) 所示; 第二类: 直线的主方向上链码表现为 2 或 6, 称直线的主基元为列基元, 定义该类直线的倾斜角范围为  $[-\pi/2, -tv] \cup (tv, \pi/2]$ , 如图 3(b) 所示; 第三类: 直线的主方向上链码表现为 3 或 7, 称直线的主基元为正斜基元, 定义该类直线的倾斜角范围为  $[-tv, -\pi/4] \cup [-\pi/4, -th]$ , 如图 3(c) 所示; 第四类: 直线的主方向上链码表现为 1 或 5, 称直线上的主基元为负斜基元, 定义该类直线的倾斜角范围为  $[th, \pi/4] \cup [\pi/4, tv]$ , 如图 3(d) 所示。

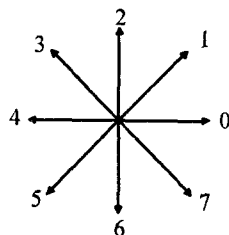


图 2 Freeman 链码方向编码

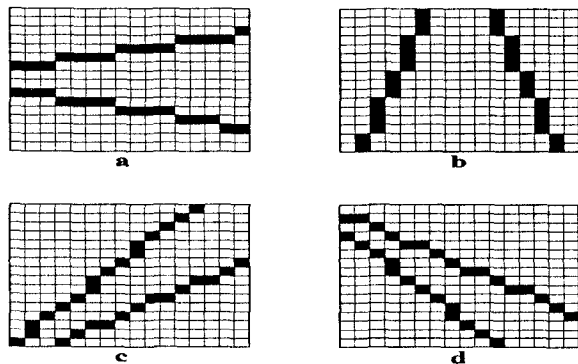


图 3 直线的分类

由 Freeman 准则(1)知, 主方向的链码值和次方向的链码值相差  $1(\bmod 8)$ , 当知道主基元的种类时, 根据主基元的位置可以知道下一个主基元可能的位置范围, 简称该特征为直线主基元的位置特征。以行基元为例, 已知当前直线上的主基元的类和位置, 同一条直线上下一个同类基元的位置, 如图 4 所示。根据 Freeman 准则(3)可知, 直线上除了第一个和最后一个主基元外, 其他主基元长度相差 1, 简称该特征为直线主基元的长度特征。所以同类基元如果满足相邻位置约束和长度约束, 就可以认为这两个同类主基元共线。并且它们的倾斜角在一定程度上定位了该直线的倾斜角的范围。

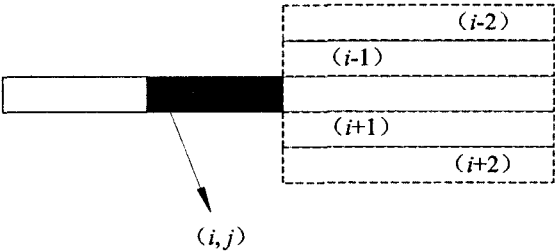


图 4 直线的位置特征

2.2 基于主基元的 Hough 变换直线检测算法的实现过程

第一步,对图像进行二值化后提取边缘,减少图像参与运算的点数,得到图像  $K$ 。

第二步,根据直线的主方向特征,提取图像  $K$  的主基元,并进行分类。

具体做法:分别从四个方向(0 度,90 度,45 度,135 度)扫描图像  $K$ ,对直线上的主基元进行分类,并在相应的基元数组  $R$ (行基元数组  $a$ 、列基元数组  $b$ 、正斜基元数组  $c$ 、负斜基元数组  $d$ )中记录其对应的主基元的起始点  $(x_i, y_j)$  和该基元的长度  $Lg(x_i, y_j)$ 。扫描的同时在索引表  $M$  中建立索引关系  $M(l_i) = Ri(q)$ ;其中  $l_i$  为扫描线的顺序编号,其编号由预先建立的  $(x_i, y_j)$  到  $l_i$  的函数关系  $l_i = F(x_i, y_j)$  确定; $q$  为扫描线  $l_i$  上的第一个基元,  $Ri(q)$  为  $q$  在  $R$  中的位置。

第三步,在同类基元数组内按序提取主基元,获得该主基元的属性。

具体做法:在  $R$  的同类主基元数组(即  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ )中获取当前主基元  $r$ ,由起始点  $(x_{ri}, y_{rj})$  和长度  $Lg(x_{ri}, y_{rj})$ ,计算  $r$  的终点坐标  $(x_{rei}, y_{rej})$ ,同时根据第二步中的  $l_i = F(x_i, y_j)$  提取主基元所在方向上的扫描线的顺序编号  $l_{ri}$ 。

第四步,利用直线的主基元的位置特征,根据邻近主基元的扫描线范围约束在数组  $R$  中搜索范围,提取当前主基元的邻近主基元。

具体做法:在数组  $R$  的范围  $[R(M(l_{ri} - t)), R(M(l_{ri} + t))]$  查找满足条件公式(2)或(3)的候选主基元  $c$ ,作为当前主基元  $r$  在容忍间距  $t$  内的邻近基元:

$$|(x_{rei}, y_{rej}) - (x_{ci}, y_{cj})| \leq (t/2) \times (Lg(x_{ri}, y_{rj}) + Lg(x_{ci}, y_{cj})) \tag{2}$$

$$|(x_{ri}, y_{rj}) - (x_{cei}, y_{cej})| \leq (t/2) \times (Lg(x_{ri}, y_{rj}) + Lg(x_{cei}, y_{cej})) \tag{3}$$

其中  $(x_{ci}, y_{cj})$  和  $(x_{cei}, y_{cej})$  为候选主基元  $c$  的起始点和终点,  $Lg(x_{ci}, y_{cj})$  为选主基元  $c$  的长度。 $|(x_{rei}, y_{rej}) - (x_{ci}, y_{cj})|$  和  $|(x_{ri}, y_{rj}) - (x_{cei}, y_{cej})|$  为相应两点间的距离。

第五步,取当前主基元  $r$  和候选基元  $c$  的中心坐标代替基元位置计算主基元的倾斜角  $\theta$ ,根据  $\theta$  约束  $r$  的极角范围  $(\pi/2 + \theta - \epsilon, \pi/2 + \theta + \epsilon)$ ,并结合直线分类的角度阈值对极角进行临界约束,  $\epsilon$  是设定的角度变换范围。

第六步,在临界约束后的极角范围内对主基元  $r$  上的像数点进行 Hough 变换运算,根据公式(1)在累加数组  $Z(\rho, \vartheta)$  内进行单元累加。

第七步,提取最大值的累加单元  $Z(\rho, \vartheta)$ ,获得直线在参数空间的参数  $\rho$  和  $\vartheta$ 。

其中数组  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  为局部变量,  $Z$  为全局变量。

3 实验结果与分析

为验证该算法的性能,实验选取一幅包括 3 条第一类直线、4 条第二类直线、1 条第三类直线、1 条第四类直线的模板进行仿真实验。细化后的实验如图 5 所示。在精度和速度上比较标准 Hough 变换与文中的方法加噪声的实验结果如表 1 所示,不加噪声的实验结果如表 2 所示,其中  $\rho$  以像素点为度量,角度  $\vartheta$  以度为度量单位且单位  $\vartheta$  的量化步长为  $1^\circ$ 。

表 1 有噪声的实验

直线编号 运行时间	传统 Hough 变换		文中方法	
	$\rho$	$\vartheta$	$\rho$	$\vartheta$
1	93	89	93	88
2	156	80	156	79
3	368	48	369	47
4	104	19	104	18
5	97	180	97	179
6	47	154	51	154
7	17	136	17	135
8	75	113	75	112
9	263	106	267	104
耗时	0.465583s		0.0756s	

表 2 无噪声的实验

直线编号 运行时间	传统 Hough 变换		文中方法	
	$\rho$	$\vartheta$	$\rho$	$\vartheta$
1	93	89	93	88
2	156	80	156	79
3	368	48	369	47
4	104	19	104	18
5	97	180	97	179
6	47	154	51	154
7	17	136	17	135
8	75	113	75	112
9	263	106	267	105
耗时	0.280545s		0.0707s	

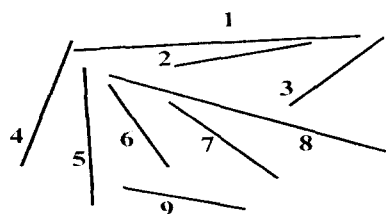


图 5 实验模板

实验表明,文中的方法可以在保持与标准 Hough 变换同样精度的前提下,相对提高直线检测的效率。在无噪声的情况下,相对于标准 Hough 变换,文中方法可以提高速度达 3 到 4 倍,在加噪声的情况下,可以基本不增加 Hough 变换的计算次数,相对标准 Hough 变换,速度能提高到 6 到 7 倍。由于实验采用 MATLAB 验证,其搜索策略没有得到最大的发挥,其平均时间在整个算法中占到 0.31,其搜索范围仅仅在扫描线的范围上进行了限制,因此从理论上文中的方法在速度上还有很大的提高余地。

此外,应当充分利用直线上的长度特征,在直线相交的情况下,提高选取候选基元的正确率,提高直线检测的鲁棒性,待算法完善后,将采用其他语言改写,这将是下一步工作的重点。

#### 4 结束语

在基于 Freeman 链码的直线特征的基础上,利用直线走向特征,初步对图像的主基元进行分类,在同类基元数组中,利用直线的主基元的位置特征,缩小搜索邻近基元的搜索范围,在搜索范围内利用直线的主基元的长度特征,作为条件,确定邻近基元,通过当前基元和邻近基元的倾斜角,约束当前基元上的像素点参与 Hough 变换的极角范围,从而减少 Hough 变换的浮

点运算的次数,提高直线检测的效率。文中的思想还可用在表格框线的旋转角度上,在该转角范围内提取表格的所有框线。

#### 参考文献:

- [1] Illingworth J, Kittler J. A survey of the Hough transform[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1988,44(1):87-107.
- [2] Brucker P, Drexel A. Resource-constrained project scheduling notation, classification, models, and methods[J]. European Journal of Operational Research, 1999,112(1):3-41.
- [3] Tagzout S, Achour K, Djekoune O. Hough transform algorithm for FPGA implementation[J]. Signal Processing System, 2000(10):384-393.
- [4] 张大朴,李玉山,刘洋,等.采用拟梯度方向信息的随机哈夫变换直线检测[J].计算机科学,2006,33(4):208-210.
- [5] 易玲.基于分级的快速度霍夫变换直线检测[J].微计算机信息,2007,23(11):406-408.
- [6] Freeman H. Boundary encoding and processing[M]//In: Picture Processing and Psychopictorics. New York: Academic, 1970:241-266.
- [7] Jang Jeong-Hun, Hong Ki-Sang. Fast line segment grouping method for finding globally more favorable line segments[J]. Pattern Recognition, 2002(35):2235-2247.
- [8] Boldt M, Weiss R, Riseman E. Token-based extraction of straight lines[J]. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, 1989,19(6):1581-1594.
- [9] Nacken P F M. A metric for line segments[J]. IEEE Trans. PAMI, 1993,15(12):1312-1318.
- [10] 周绍光,辛梓,田林亚.利用数字影像中直线的结构特征检测直线段[J].计算机工程与应用,2004(22):71-74.

(上接第 18 页)

#### 参考文献:

- [1] Shin K G, McKay N D. Minimum-Time Control of Robotic Manipulators with Geometric Path Constraints[J]. IEEE Trans on Automat Control, 1985,30(6):531-541.
- [2] Lin Chun-Shin, Chang Po-Rong, Luh J Y S. Formulation and Optimization of Cubic Polynomial Joint Trajectories for Industrial Robots[J]. IEEE Trans Robot Automat, 1983,28(12):1066-1067.
- [3] Kavraki L E, Svestka P, Latombe J C, et al. Probabilistic Roadmaps for Path Planning in High-Dimensional Configuration Spaces[J]. IEEE Trans Robot Automat, 1996,41(4):566-579.
- [4] 王建滨,马培荪,徐军.超冗余度机械臂的路径安全性优化研究[J].上海交通大学学报,2003,37(5):710-714.
- [5] 陈益富,卢潇,丁豪杰.对 Dijkstra 算法的优化策略研究[J].计算机技术与发展,2006,16(9):73-75.
- [6] 李衷怡,徐欣康.基于 B 样条曲线的断层离散数据平滑算法[J].计算机技术与发展,2007,17(10):16-18.
- [7] 王建滨,马培荪,徐军.基于超冗余度机械臂动力学的时间最优轨迹规划[J].上海交通大学学报,2002,36(9):1360-1364.
- [8] 石辛民,郝整清.模糊控制及其 MATLAB 仿真[M].北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2008:93-117.
- [9] 李红岩,侯媛彬,王秀.实现温度自动调节的模糊控制器设计[J].计算机技术与发展,2006,16(3):149-151.