

一种提取直线的随机方法

徐刚锋 李 飏 沈振康

(国防科学技术大学 ATR 国家重点实验室, 长沙 410073)

摘 要 基于 Hough 变换提取直线的方法, 由于要预先量化参数空间, 因此需要很大的存储量和计算量. 基于 RHT(Randomized Hough Transform)提取直线的方法是通过随机选取两个点得到直线的参数, 而后在参数空间对相应的参数进行累加、判断, 该方法虽然无需预先量化参数空间, 但是其在直线检测时, 收敛速度慢. 为此提出一种新的随机检测直线(Random Line Detection)的方法, 在图象边缘点构成的数据空间中随机选取 3 个点, 根据距离准则获得一条可能的直线, 然后在数据空间中进一步判断直线的真实性. 实验证实了该方法能有效的减少存储空间并降低计算量.

关键词 图象处理(510·4050) 直线检测 随机选取 Hough 变换

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)12-1418-04

An Efficient Random Algorithm for Lines Detection

XU Gang-feng, LI Biao, SHEN Zhen-kang

(National Lab of ATR, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract Detecting lines from a digital image is very important in computer vision. In the HT-based method, due to the fact that the parameter space is quantified, the large computation-memory requirement is needed. Randomized Hough Transform (RHT) randomly selects two pixels from an edge image to solve parameters of a line and their corresponding mapped point in the parameter space is collected by voting on the accumulator implemented by an array. In this paper, an efficient randomized algorithm for detecting lines (RLD) in image is presented. In RLD, we first randomly select three edge pixels from an edge image and define a distance criterion to determine whether there is a possible line in the image, after find a possible line we apply an evidence-collecting process to further determine whether the line is true or not. Experiments demonstrate that the proposed algorithm is valid.

Keywords Computer image processing, Lines detection, Randomly select, Hough transform

0 引 言

在图象处理中,直线的提取有着广泛的用途. 针对直线的提取,已提出了很多有效的方法. Hough 变换的思想是利用图象空间中的边缘数据点去计算参数空间中的可能轨迹,并在一个累加器中给计算出的参考点计数,最后选出峰值. 但是,由于峰值的选取可能会丢失某些特定直线,而且需要预先量化参数空间,致使需要很大的存储量和计算量. RHT (randomized Hough transform)^[2]方法的实质是将

所有的图象边缘点组成一个数据空间,而后在此数据空间中随机选取两点用来求解直线方程,这样两点将映射出参数空间的一点 $p_i = (a_i, b_i)$. 如果在图象中存在这条直线,参数 p_i 会得到累加,因此通过参数空间的点门限判别,可以检测出图象中所有的直线.

本文提出一种随机检测直线的算法. 在边缘点构成的数据空间中随机选取 3 个点,通过距离准则来判断这三点间是否构成一条直线,而后在数据空间中进一步判定这条直线的真实性. 由于此方法无需通过映射到参数空间来检测直线,这样将减少大

量的存储空间,同时在数据空间对可能直线的真实性进行判断,可以有效提高处理速度从而使其适用于实时处理并具有很好的鲁棒性.

1 随机直线检测算法

假设 (x, y) 为图象中的边缘点,图象中的直线可表示为

$$y = ax + b \quad (1)$$

假设 V 表示图象边缘点构成的数据空间.从 V 中随机选取 3 个不同点 $v_m = (x_m, y_m)$, $m = t, j, k$.由 v_i, v_j ,得到一条直线 L_{ij}

$$y_i = a_{ij}x_i + b_{ij}, \quad y_j = a_{ij}x_j + b_{ij} \quad (2)$$

由式(2)可得直线参数

$$a_{ij} = \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}, \quad b_{ij} = \frac{y_i x_j - y_j x_i}{x_j - x_i} \quad (3)$$

这样 v_k 到直线 L_{ij} 的距离 $d_{k \rightarrow ij}$ 为

$$d_{k \rightarrow ij} = \frac{|y_k - a_{ij}x_k - b_{ij}|}{\sqrt{a_{ij}^2 + 1}} \quad (4)$$

如果 v_k 在直线 L_{ij} 上, $d_{k \rightarrow ij}$ 为 0.因数字图象是用点阵表示的,所以这 3 点不可能确切地在同一条直线上,故 $d_{k \rightarrow ij} \rightarrow 0$.

在选取的 3 点 $v_m (m=1, 2, 3)$ 中存在 3 条直线 L_{12}, L_{23}, L_{13} ,每个点到另两点构成直线的距离为 $d_{1 \rightarrow 23}, d_{2 \rightarrow 13}, d_{3 \rightarrow 12}$,只要其中的任何一个距离值小于给定的距离门限 T_d (假定 $T_d=1$),便判断这 3 点在同一条直线上,相应的直线可能是图象中存在的直线.这条直线是否确实为图象中存在的直线,还需通过对数据空间中边缘点的累加来进一步判断.针对这条可能的直线,假定累加器 S 开始为 0,目的是为了计算有多少个边缘点在这条直线上.对于数据空间 V 中的每个边缘点 v_i ,如果 $d_{i \rightarrow ij}$ 小于门限 T_d ,即认为此点在这条直线上,相应的 S 加 1,直到所有的点都检测完毕.如果最终 S 的值大于给定的峰值门限 T_s ,则判定这条直线是图象中确实存在的直线,并将这条直线上的点从数据空间 V 中去除,以便可以提高下一条直线的检测速度,否则判定这条可能的直线是假的,保留在数据空间 V 中的点.

针对上述步骤中峰值门限 T_s 存在动态选择问题,将上述步骤作如下改进:在得到可能的直线后,求取这 3 点之间的距离 D_{ij} ,其中 $i, j=1, 2, 3, i \neq j$,选择构成最小距离 D 的两个点 v_i, v_j ,定义峰值门限为 $T_s = n \cdot D$,其中 $0.8 \leq n \leq 1$;沿着直线的方向在

v_i 和 v_j 之间搜索数据空间的边缘点,如果 $d_{i \rightarrow ij}$ 小于门限 T_d ,则计数累加器 S 加 1,直到所有的点都检测完毕.如果最终 S 的值大于比例门限 T_r ,则判定这条直线是图象中确实存在的直线.

随机检测直线算法的步骤:

(1) 建立包含所有边缘点数据空间 V .初始化失败累加器 $f=0$,设置门限 T_f 表示最大容许的失败次数. T_d, T_r 分别表示距离门限和峰值门限.

(2) 如果 $f \geq T_f$,程序结束;否则从数据空间中随机选取 3 个数 $v_m (m=1, 2, 3)$,同时将这 3 个数从数据空间去除.

(3) 由这 3 个点计算 $d_{k \rightarrow ij}$,如果存在 $d_{k \rightarrow ij} \leq T_d$,继续下一步;否则 $f=f+1$,将这 3 个数放回数据空间,然后转入第 2 步.

(4) 设定计数累加器 $S=0$,计算 3 点之间的距离,求得最小距离 D ,相应构成直线 L_{ij} 的两点为 v_i, v_j ,得到比例门限 $T_r = n \cdot D (0.8 \leq n \leq 1)$.沿着直线的方向在 v_i 和 v_j 之间搜索数据空间的边缘点 v_i ,如果 $d_{i \rightarrow ij}$ 小于门限 T_d ,将此点从数据空间去除且计数累加器 S 加 1.检测中,若 $S \geq T_s$,认定 L_{ij} 为图象中真正的直线,执行 $f=0$,继续下一步;否则 $f=f+1$,将相应的点放回数据空间,然后转入第 2 步.

(5) 以 v_i, v_j 为端点,沿着直线的方向向两端搜索边缘点 v_i ,如果 $d_{i \rightarrow ij}$ 小于门限 T_d ,将此点判定为直线上的点并将此点从数据空间去除.在搜索过程中考虑断点的情况,转至第 6 步;否则直到图象的边界.

(6) 设置门限 T_c 表示连续断点的极限,初始化断点累加器 $C=0$.若搜索点为连续的断点, $C=C+1$,如果 $C \geq T_c$,则 $C=0$ 且转入第 2 步;否则 $C=0$ 且转入第 5 步.

2 实验结果

为了验证算法的有效性,对仿真图图 1(a)进行直线检测.图 1(b)和图 1(c)是在原始图图 1(a)加上不同程度的随机噪声点,检测的结果如图 1(d),从此结果可以得知,随机直线检测算法可以在非直线的图形干扰的情况下有效地检测直线,同时,具有良好的鲁棒性.

图 2(a)为机场跑道图,图 2(b)是利用 Canny 边缘检测算法对图 2(a)处理后的结果,图 2(c)是对图 2(b)进行直线检测的结果,在直线检测中利用直

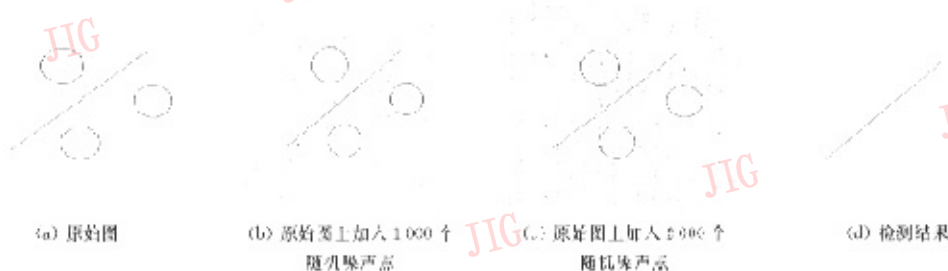


图 1 仿真图中的直线检测



图 2 机场跑道的检测

线长度准则(选取在检测的直线中最长的几条直线)提取跑道的边缘,而将跑道中的无关直线去除掉.由实验结果分析,随机直线检测算法能有效地检测图象中的直线.

3 随机检测直线算法的性能分析

基于 HT 的直线检测方法是图象边缘点映射到另一个参数空间进行累加、判断,由于需要预先量化好参数空间,参数空间的大小和分辨率就显得至关重要.量化的参数空间小、分辨率低虽然可以节省存储空间,但却因图象中边缘点在参数空间无法准确的累加而无法准确地检测直线.因而要准确的检测直线,必然要提高参数空间的分辨率,但这是以更多的存储空间和计算量为代价的.而 RLD 算法因无需映射到另一个参数空间来进行直线检测,也就不存在参数空间大小和分辨率的问题,进一步地,RLD 算法可以通过动态的调节距离门限 T_d 来改变直线检测的分辨率,而不用改变存储空间的大小和计算量.

在此,用概率模型来讨论 RLD 和 RHT 的计算复杂度^[3,4].考虑图象中有 N 个边缘像素点,图象中的一条直线上有 M 个边缘像素点,这样随机选取一个边缘像素点属于此条直线的概率为 $P = M/N$.假定事件 A

为随机选取 2 个点都属于此条直线,事件为随机选取 3 个点都属于此条直线,则事件 A 和 B 发生的概率为

$$\begin{aligned}
 P[A] &= \frac{M(M-1)}{N(N-1)} \\
 P[B] &= \frac{M(M-1)(M-2)}{N(N-1)(N-2)}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

由于 M 和 N 较大,不妨将 $P[A]$ 和 $P[B]$ 近似为 P^2 和 P^3 .在 RHT 中,假定事件 A 发生两次表明检测直线成功,而 A 未发生表明检测直线失败,在 RLD 中,假定事件 B 发生一次表明成功检测到直线,而 B 未发生表明检测直线失败.定义随机变量 x_{RHT} 为事件 A 发生两次前失败的次数, x_{RLD} 为事件 B 发生一次前失败的次数,可求随机变量的概率为

$$\begin{aligned}
 P_{RHT}[x_{RHT}] &= C_{x_{RHT}+1}^1 (1 - P^2)^{x_{RHT}} (P^2)^2 \\
 x_{RHT} &= 0, 1, 2, \dots \\
 P_{RLD}[x_{RLD}] &= (1 - P^3)^{x_{RLD}} (P^3) \\
 x_{RLD} &= 0, 1, 2, \dots
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

对应的概率分布函数为

$$\begin{aligned}
 F_{RHT}[x_{RHT}] &= \sum_{1 \leq i \leq x_{RHT}} P_{RHT}[i] \\
 F_{RLD}[x_{RLD}] &= \sum_{1 \leq i \leq x_{RLD}} P_{RLD}[i]
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

假定 $P = 0.5$ 和 $P = 0.25$, 对上述检测失败次数的概率作图分析,结果如图 3 所示.

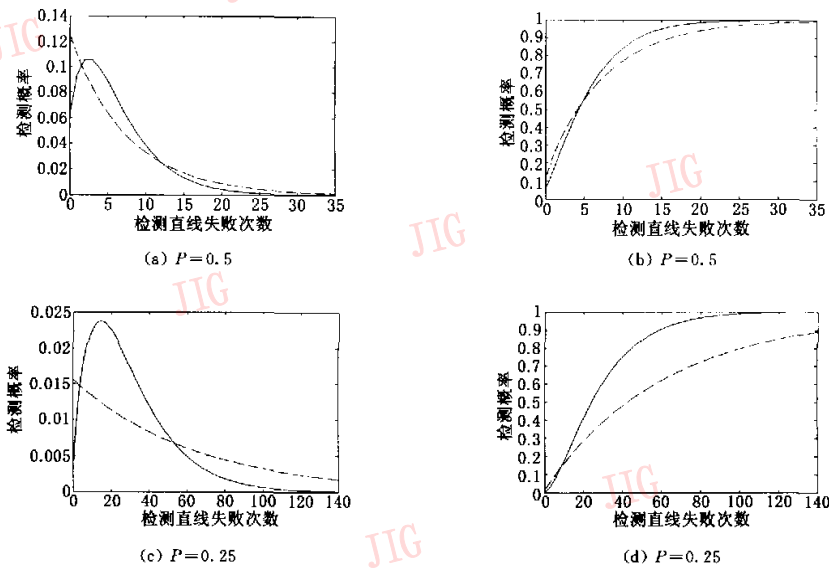


图 3 RHT 和 RLD 的计算复杂度

在噪声干扰不是很大时($1/3 < P < 1$),由图 3(b)可知,在失败次数很大时 RLD 的检测概率分布值略小于 RHT,但 RHT 需要在参数空间搜索、判断,因而 RLD 的处理速度仍优于 RHT;而当噪声干扰很大时($P < 1/3$),由图 3(d)可知,RHT 的检测概率分布值明显高于 RLD,即 RHT 处理速度要高于 RLD,但这是以消耗大的存储空间为代价的.

4 结 语

本文提出了一种新的随机检测直线的方法,通过在数据空间中随机选取三个点,运用距离准则来判断这三点间是否构成一条直线,然后通过累加边缘点来进一步判定这条直线的真实性.由于无需预先量化参数空间,故不用考虑量化间隔带来的问题,同时采用距离判别准则能动态的调节直线检测的分辨率.基于随机检测的思想同样可以运用到曲线的检测中,如圆、椭圆等.在有噪声的情况下如何进一步优化搜索策略是在下一步的工作中的重点.

参 考 文 献

- 1 王润生. 图象理解[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1994.
- 2 Xu L, Oja E, Kultanan P. A new curve method: Randomized Hough transform (RHT) [J]. Pattern Recognition Letters, 1990, 11(2): 331~338.
- 3 Xu L, Oja E. Randomized Hough transform (RHT): Basic

- mechanisms, algorithms, and computational complexities [J]. Computer Vision Graphics and Image Processing: Image Understanding 1993, 57(1): 131~154.
- 4 Chen The-Chun, Chuang Kuo-Liang. An efficient randomized algorithm for detecting circles [J]. Computer Vision and Image Understanding 2001, 83(1): 172~191.



徐刚锋 1980年生,2002年在国防科大电子科学与工程学院获硕士学位,现为国防科技大学 ATR 国家重点实验室博士生.主要研究方向为图象处理、自动目标识别等.



李 颢 1967年生,博士,国防科技大学电子科学与工程学院副教授.主要研究方向为图象处理、自动目标识别、多传感器信息融合等.发表论文多篇.



沈振康 1937年生,国防科技大学电子科学与工程学院教授,博士生导师,863专家.主要研究方向为图象处理、自动目标识别、神经网络等.发表论文多篇.