

一种采用 HOG 特征的直线段提取方法

王学娟^{1,2,3,4}, 罗海波^{1,3,4}, 魏永旺^{1,3,4}, 陈大庆⁵, 夏仁波^{1,3,4}

- (1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院光电信息处理重点实验室, 辽宁 沈阳 110016;
4. 辽宁省图像理解与视觉计算重点实验室, 辽宁 沈阳 110016;
5. 太原卫星发射中心, 山西 太原 030027)

摘要: 直线段特征是广泛应用于图像分析与处理领域的一种特征, 直线段提取是基于特征的模式识别和图像匹配的一个重要步骤, 直线段提取方法的优劣直接影响到高层次图像处理的复杂度和处理的效果。针对目前直线段提取方法中存在的直线段端点不准确和直线段断裂问题, 提出了一种新的基于 HOG 特征的直线段提取方法。该方法利用矩阵的行、列积分运算实现对原始图像特定方向直线段的投影, 根据矩形函数的一阶导数性质将确定直线段端点位置的问题转化为对列方向向量的求导问题, 从而更能有效提取出图像中的直线段。理论分析和实验结果表明: 该方法能够快速、准确地提取直线段, 在一定程度上解决了经典方法中直线段断裂及端点不准确问题。

关键词: 边缘检测; 直线段提取; HOG 特征; 形态学滤波; 矩形函数

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)02-0513-06

Extracting line segments method with HOG feature

Wang Xuejuan^{1,2,3,4}, Luo Haibo^{1,3,4}, Wei Yongwang^{1,3,4}, Chen Daqing⁵, Xia Renbo^{1,3,4}

- (1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Key Laboratory of Opto-Electronic Information Processing, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
4. Key Laboratory of Image Understanding and Computer Vision, Shenyang 110016, China;
5. Taiyuan Satellite Launch Center, Taiyuan 030027, China)

Abstract: Line segment feature is widely used in the field of image analysis and processing, and line segment extraction is an important step in pattern recognition and image matching which are feature-based. The pros and cons of the line segment extraction method directly affects the complexity and the processing effects of high-level image processing. However, there were some problems in most of the current line segments extraction methods. For instance, the endpoints of the extracted line segment were not accurate enough and the extracted line segments were always discontinuous. A HOG-feature-based approach was represented to overcome the above two problems. In order to extract line segments efficiently, in this method, the integration on rows and columns of a matrix was used to realize the

收稿日期: 2012-06-05; 修订日期: 2012-07-03

基金项目: 国家自然科学基金(51005229)

作者简介: 王学娟(1985-), 女, 硕士生, 主要从事 ATR 方面的研究。Email: xjking@sia.cn

导师简介: 罗海波(1967-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事实时图像处理, 模式识别与智能系统, ATR, ATD, 先进制导技术方面的研究。Email: luohb@sia.cn

projection of line segments with particular direction in the original image. And then with the application of the property of the rectangular function's first derivative, the line-segment endpoints positions were determined via the column vector's derivative. Theoretical analysis and the results of experiments verified that this method can not only extract straight segments accurately, but also solve the straight segment fracture and endpoints inaccurate problems existing in the classic methods to some extent.

Key words: edge detection; straight segment extraction; HOG feature; morphological filter; rectangular function

0 引言

人造目标以及大多数自然目标均可以用直线段来描述。因此,直线段作为一种重要特征广泛应用于图像表征、目标识别和三维重建中。如参考文献[1-2]的机场跑道识别和参考文献[3]的海天线识别均采用了直线段特征。经典的直线段提取方法有基于区域生长^[4]和基于 Hough 变换^[5]的方法。基于区域生长的方法将图像中梯度方向一致的点生长成为一个区域,然后用该区域作为直线段的支撑区进行直线拟合。由于该方法仅考虑了梯度的方向信息,忽略了梯度幅值的影响,因而存在多边缘问题;并且该方法一次只能处理一条直线段,须对图像中的直线段逐一处理,生长过程中需要逐点计算,运算量较大。基于 Hough 变换的直线段提取方法,首先计算图像中的边缘信息,然后根据直线方程利用点线的对偶性将图像中直线上的点映射到参数域,并设置累加器,参数域中的峰值即为原图像中直线方程的参数。该参数由选择的直线方程解析式决定,可采用截距式或是极坐标式。广义的 Hough 变换也可用于诸如圆和椭圆等可参数化的其他曲线的检测。但是,Hough 变换对计算机内存的需求量较大,并且对阈值的选取敏感,选取不当会出现较多的伪直线或者线段断裂的问题。

参考文献[6]提出了一种基于梯度方向直方图的直线轮廓提取方法,该方法利用梯度直方图确定图像上的直线边缘方向,再沿着已经确定的方向对图像进行扫描累加来确定图像中的直线边缘,以实现靶场光测图像中的导弹、火箭弹等目标的直线轮廓提取。但只针对单目标,单方向的直线边缘进行了研究,该文献作者在结论中指出,当图像中存在多个目标、多个方向的直线边缘时,在全图内应用该方法有可能会失效。

以上方法都是对整幅图像进行处理,每条直线段

的提取过程都受到图像中其他方向直线段的影响,会出现直线段连通性和伪直线抑制无法兼顾的问题,直线段断裂较少时可以提取到较长的直线段,但同时会产生更多的伪直线;伪直线较少时,直线段的断裂现象会非常严重。无论怎么选取参数,都无法使上述两项指标同时达到最优。针对以上问题,文中提出了一种新的直线段提取方法,用相对较简单的矩阵行、列积分运算代替在原图像中按特定方向进行直线投影运算,并利用矩形函数一阶导数的性质将确定直线段端点位置的问题转化为对列方向向量求导问题。该方法依据 HOG 特征确定直线边缘方向,对不同方向的直线段依次提取,从而避免了出现多边缘以及由一些散点造成的伪直线段的问题;同时,可以对位于同一直线方程上的多个直线段是否属于同一直线段进行准确鉴别,这从根本上兼顾了伪直线抑制和直线段断裂修补问题,可以有效提取到图像中的直线段。

1 基于 HOG 特征的直线段提取方法

1.1 HOG 特征提取

HOG 特征^[7]用梯度的密度分布来描述图像或目标,是由图像的局部梯度分布直方图有序排列而构成的能反应图像整体内容的一种特征;具体实现方法是先将图像分成 $u \times v$ 像素的小块,称为细胞单元(cell),对每一个细胞单元进行梯度方向隶属度统计,为了降低光照变化的影响,在更大的范围内(block)对细胞单元进行归一化处理,最终得到图像的 HOG 特征。文中研究了在整幅图像中提取直线段的方法,所以将整幅图像作为一个细胞单元,不需要对图像进行分块处理。设输入图像为 I (灰度图像),则 HOG 特征提取的具体计算流程为:

- (1) 对图像进行平滑滤波,以抑制噪声的干扰。
- (2) 计算图像的梯度,得到图像梯度方向矩阵

$\theta(I)$ 和图像梯度幅值矩阵 $\text{magnitude}(I)$ 。

(3) 对图像梯度方向矩阵 $\theta(I)$ 进行直方图统计, 为了更精确地对图像进行总体描述, 文中借鉴了参考文献[8]中的方法, 用梯度方向隶属度统计图像的梯度方向直方图。其中, 隶属度的计算方法见公式(1), 其物理意义在于某点的梯度方向 $\theta(i, j)$, 不再仅仅属于梯度直方图中某一个类, 而是按一定的权重 α 和 $1-\alpha$ 分属于其相邻的两个类。

$$\alpha = \frac{b}{\pi} \left(\theta(i, j) \bmod \frac{\pi}{b} \right)$$

$$\begin{cases} n = \left\lfloor \frac{b * \theta(i, j)}{\pi} \right\rfloor \\ m_n = (1 - \alpha) \text{magnitude}(i, j) \\ m_{n+1} = \alpha * \text{magnitude}(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

1.2 直线方向向量计算

由 HOG 特征的物理意义得知, HOG 特征可以用于描述一幅图像的梯度聚类特性, 当图像中存在直线段时, 在其 HOG 特征中相应地会有显著响应。以图 1(a)为例, 图中包含 4 条不同方向的直线段, 在其对应的梯度方向直方图(HOG 特征, 如图 1(b)所示)中可以看到明显的 4 个峰值, 1 个峰值对应的角度代表一条直线段的主方向, 选取图像中梯度角与其相同的所有点即可得到该方向直线的 1 个点集, 如图 1(c)所示。

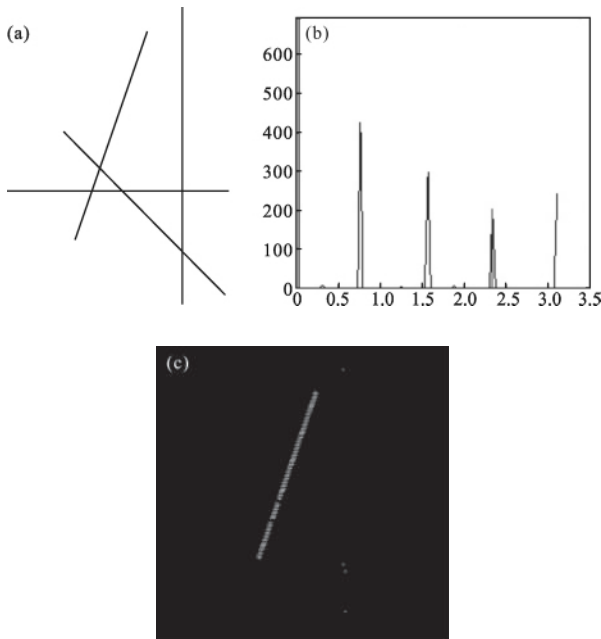


图 1 HOG 特征及应用

Fig.1 HOG feature and application

设通过 HOG 特征提取得到的直方图为 $\text{histogram}(I)$, 对其按从大到小的顺序排列后得到图像中可能存在直线的方向向量 dir , 其中 $\text{dir}(k)$ 为图像中第 k 个主要梯度方向, 依次确定 $\text{dir}(k)$ 方向的直线段端点位置即可确定该直线段。

需要说明的是, HOG 特征中梯度方向直方图的步长决定了直线段提取的方向鉴别精度, 步长越小, 精度越高, 但同时计算量也越大; 通过多次实验证明, 取步长为 1° 时对于大部分图像都可以取得良好的效果。

1.3 直线端点位置确定

直线段起始点和终点的坐标信息由其行坐标和列坐标构成, 因为图像中的直线段方向不定, 所以如果直接对图像进行操作, 无法对同方向的直线段进行批量处理, 只能用经典的基于 Hough 变换或基于区域生长的方法。

为了能将图像中同一方向的直线段同时提取出来, 将直线段端点位置的计算分为以下几个步骤进行:

(1) 利用模板 mask 确定图像中同方向的点。因为实际图像中的边缘并非理想的, 在边缘检测时求得的边缘梯度方向会略有差别, 所以首先定义图像中某点 (i, j) 的梯度方向 $\theta(i, j)$ 与平行直线段组 k 的角度 $\text{dir}(k)$ 之间的方向一致性。定义图像中满足 $\text{dir}(k) - \Delta \leq \theta(i, j) \leq \text{dir}(k) + \Delta$ 的点 (i, j) 与直线 k 具有一致的方向, 其中 Δ 为设定的对方向一致性的容限。步长为 1° 时, 文中取 Δ 为 $9/2^\circ$ 。然后, 利用角度信息 $\text{dir}(k)$ 与梯度方向矩阵 $\theta(I)$ 计算得到 $\text{mask}\{k\}$, 使 $\text{mask}\{k\}$ 能够屏蔽矩阵 $\text{gradient}(I)$ 中与 $\text{dir}(k)$ 方向不一致的点, 这样就可以将当前要提取的直线段的点集确定。

(2) 确定当前要提取的直线段的点集后, 再利用公式(2)计算图像中角度为 $\text{dir}(k)$ 的梯度幅值矩阵 cru_mag , 并在原梯度幅值矩阵 $\text{magnitude}(I)$ 中进行标记, 避免同一像素多次被应用。

$$\text{cru_mag} = \text{mask}\{k\} * \text{magnitude}(I) \quad (2)$$

式中: 用到 $\text{magnitude}(I)$ 是为了使直线段的重要度由直线段上所有点的梯度幅值之和决定, 而不是像基于区域生长的方法中那样, 直线段的提取是由其线上最大梯度幅值的一个点决定。如此便可兼顾到直线段较短但却很重要的情况和直线段较长但是两侧对比度不高的情况。图 2~图 5 为该过程的示意

图,其中图 2(a)为原图,图 2(b)为其边缘图。图 3 为整幅图像的梯度方向直方图,图中黑色虚线对应的角度为一条直线段(或一组平行直线段)的梯度方向。图 4 为图 2(b)与 $\text{mask}\{k\}$ 的计算结果。

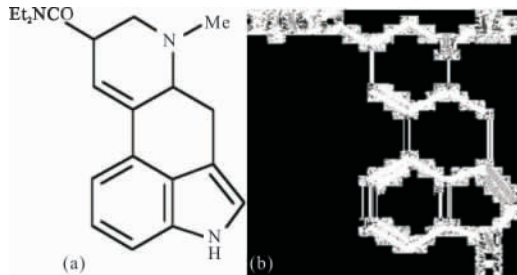


图 2 原图 I 及其边缘检测结果

Fig.2 Original image I and the Edge detection results

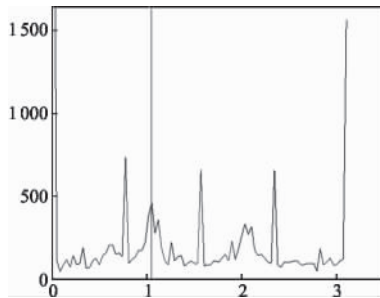


图 3 梯度方向直方图

Fig.3 Histogram of gradient feature

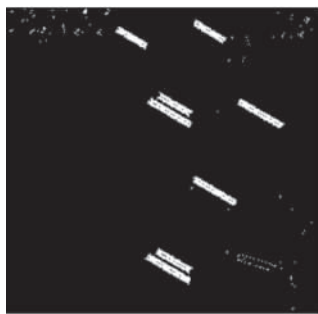


图 4 当前角度的点集

Fig.4 Point set of the current angle

(3) 对步骤(2)中得到的矩阵进行旋转操作,旋转角度为 $(\pi/2 - \text{dir}(k))$, 目的在于使当前要提取的直线段的角为 $\pi/2$, 从而可以利用矩形函数一阶导数的性质确定直线位置。记旋转后的矩阵为 $\text{rot_mag}(I)$, 如图 5 所示。对 $\text{rot_mag}(I)$ 列向求和(矩阵列积分), 得到如图 6 所示的行向量 col_his 。求取 col_his 中各个峰值的位置, 即可得到对应图像旋转后的直线段的行坐标。



图 5 当前角度的点集旋转结果图

Fig.5 Rotation result the current angle point set

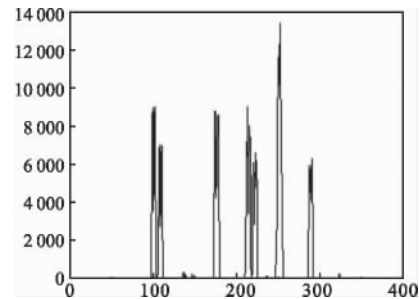


图 6 旋转图列向投影

Fig.6 Projection of the rotation result in column

(4) 形态学滤波, 由图 4 中的直线段点集示意图中不难看出, 经上述前两个步骤处理后得到的直线段存在间断点和孤立噪声两种缺陷, 为了解决该问题, 首先采用 $m \times 1$ 的结构算子对 $\text{rot_mag}(I)$ 进行列向的形态学闭操作, 以解决原来的 m 个像素以内的直线段断裂问题; 然后再进行形态学开操作以滤除图像中的孤立噪声, 最后得到图 7 所示的较理想的结果。



图 7 形态学滤波后的结果

Fig.7 Morphologic filtering result after rotation

(5) 直线段端点列坐标求解, 该过程利用了矩形函数的一阶导数性质, 即矩形函数的一阶导数在矩形函数的上升沿处为正无穷大, 而在其下降沿处为负无穷大, 在其他位置则为 0。文中将上述性质应用于求解直线的列坐标中, 在离散序列中用差分代替连续函数的求导, 图 8(a) 为一个离散矩形函数序列,

用算子 $[1, -1]$ 对其进行滤波(等同于差分运算),得到的结果如图 8(b)所示。从图中可以看出,对应矩形函

行列向滤波,滤波后的输出矩阵中会出现三种值,分别为 0、-1 和 1。其中,1 对应的点为直线段的起点, -1 对应的点为直线段的终点。

(6) 得到了直线段的端点后,最后一步是将得到的直线段转换到原图中,为了提高计算效率,只需计算端点的转换结果即可,将两个端点连接起来即完成了一条直线段的提取。

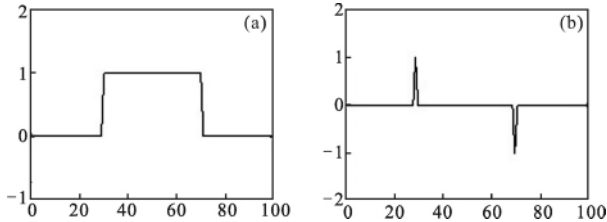


图 8 离散矩形函数序列及其滤波结果

Fig.8 Discrete rectangular function sequence and the filter results of discrete rectangular function sequence

数离散序列的起始及终点处,其值分别为峰值 1 及谷值-1。应用上述性质提取直线段的端点,首先,对处理完的 $rot_mag(I)$ 二值化,不为 0 的元素置为 1,然后,对二值化后的矩阵 $rot_mag(I)$ 用算子 $[-1, 1]$ 进

2 实验结果及分析

为了验证文中提出的直线段提取方法的有效性,在 MATLAB2010 平台下采用 6 幅不同特点的图像,对文中方法、基于 Hough 变换和基于区域生长的直线段提取方法进行了对比,因为参考文献[6]中的方法只适用于单方向的单目标,故没有与其进行对比。仿真实验结果如图 9 所示,其中图(a)为原图,图(b)为该方法的直线段提取结果,图(c)为经典的基

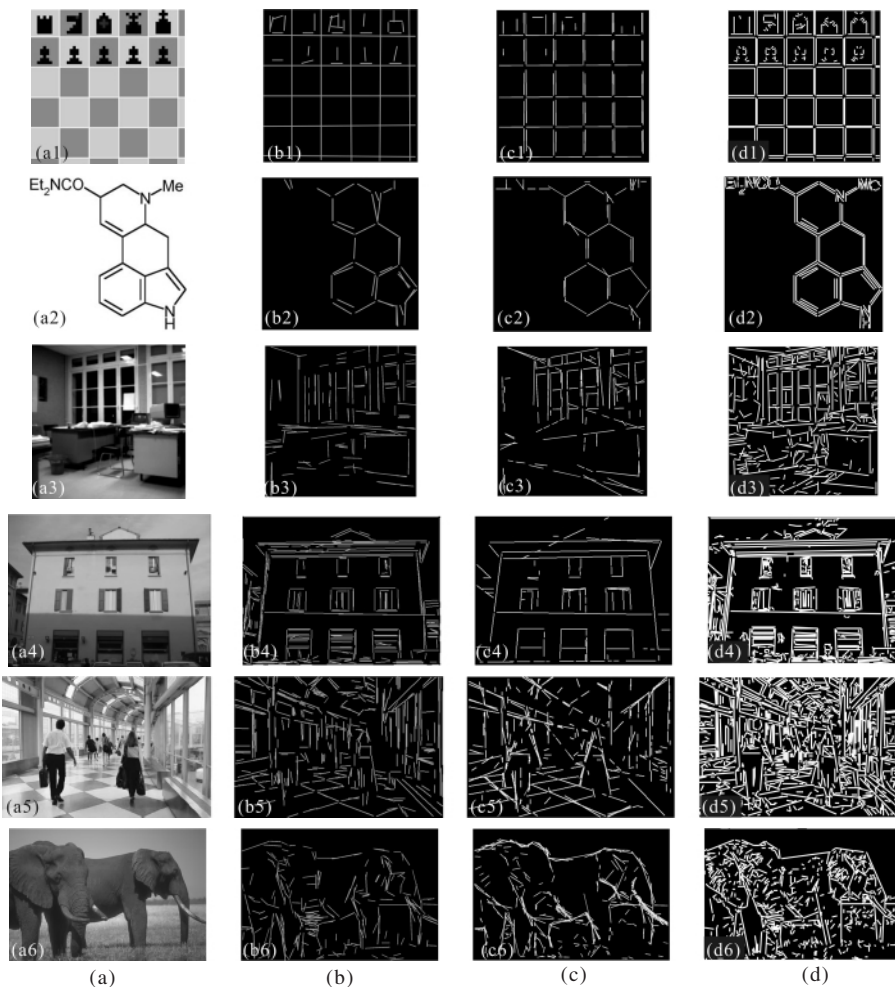


图 9 仿真实验结果

Fig.9 The simulation experiment results

于 Hough 变换的直线段提取结果,图(d)为基于区域生长的直线段提取结果。从图(a1)的提取结果图 9(b1)、图(c1)、图(d1)中可以看出,在交叉点的处理上,后两种方法不能将其很好地连接;图(c1),图(c2)和图(d1),图(d2)说明了基于 Hough 变换与基于区域生长的方法都出现了双响应的问题,对于目标识别任务而言,双响应会带来成倍的运算量;在图(a3)的实验结果图(b3)、图(c3)、图(d3)中,虽然文中方法提取到的直线段有漏检的现象出现,但是基于 Hough 变换的方法提取的结果中有明显的伪直线出现,这些是直线提取中不可容忍的;综合以上实验结果可以看出,基于 Hough 变换的方法产生的伪直线较多,基于区域生长的方法在提取直线段时虽然效果较好,但是双响应问题以及细节信息繁冗问题仍然比较明显,而文中方法由于在原理上与上述两种方法有着本质的区别,不但不存在伪直线问题,还有效解决了直线段提取过程中直线段断裂的问题和双响应问题。

3 结 论

文中提出了一种基于 HOG 特征的直线段提取方法。该方法利用矩阵行、列积分运算实现对原始图像特定方向直线的投影,应用离散矩形函数的一阶导数性质将确定直线段端点位置的问题转化为对列方向向量的求导问题。实验结果表明,文中提出的方法可以有效提取到图像中的直线段。与以往方法相比,文中方法可以同时提取到相同方向的直线段,直线的重要度在于同方向所有直线段在整幅图像中的比重,而不是单一的从某一个梯度幅值极值点开始生长。因此,该方法具有更好的鲁棒性;通过两次旋转操作提取直线段的端点也为直线段的提取找到了一种新的方法。同时,文中提取到的平行直线段组对描述一幅图像的意义,以及不同方向直线段的梯度积分特征对自动目标识别的意义有待进一步研究,是下阶段的研究课题之一。

参考文献:

- [1] Cao Shixiang, Jiang Jie, et al. Airport runway detection based on long linear structure[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(4): 1078-1082. (in Chinese)
曹世翔, 江洁, 张广军, 等. 长线状特征下机场跑道检测方法, 红外与激光工程, 2012, 4, 41(4): 1078-1082.
- [2] Xiao Zhijian, Zhou Yan, Zhang Huangjun, et al. Structure based airport recognition in remote sensing image [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 6, 34(3): 314-318. (in Chinese)
肖志坚, 周焰, 张广军, 等. 基于结构特征的遥感图像机场目标识别, 红外与激光工程, 2005, 6, 34(3): 314-318.
- [3] Liu Songtao, Zhou Xiaodong, Wang Chenggong, et al. Robust sea-sky-line detection algorithm under complicated sea-sky background [J]. *Opto Electronic Engineering*, 2006, 33(8): 5-10. (in Chinese)
刘松涛, 周晓东, 王成刚, 等. 复杂海空背景下鲁棒的海天线检测算法研究, 光电工程, 2006, 33(8): 5-10.
- [4] Burns J Brian, Hanson Allen R, Riseman, et al. Extract straight lines[J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, 6, PAMI-8(4): 425-455.
- [5] Duds Richard O, Hart Peter E. Use of the hough transformation to detect lines and curves in pictures [J], *Communications of the ACM*, 1972, 15(01): 11-15.
- [6] Zhang Xiaohu, Li You, Li Lichun, et al. A new line boundary detection algorithm based on histogram of gradient's direction [J]. *Optical Technique, Optical Technique*, 2006, 32(6): 824-826. (in Chinese)
张晓虎, 李由, 李立春, 等. 一种基于梯度方向直方图的直线轮廓提取新方法, 光学技术, 2006, 32(6): 824-826.
- [7] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]//*IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2005, 1: 886-893.
- [8] Luo Haibo, Yu Xinrong, Liu Hongmei, et al. A method for real-time implementation of HOG feature extraction [C]//*SPIE*, 2011, 8193: 819302.