

# 矩形形态滤波器<sup>①</sup>

梅月平, 童卫青, 金俊才, 丁卓

(华东师范大学 计算机科学与技术系, 上海 200241)

**摘要:** 矩形形态是一种最基本的灰度形态, 在图像分析中有着重要的应用. 为有效地检测出图像中的矩形形态, 提出了一种矩形形态滤波器. 首先定义了矩形形态滤波器的结构元素, 然后定义了两种滤波模式: 序位滤波和序位均值滤波. 实验结果表明, 矩形形态滤波器可以有效地从二值图像、二值噪声图像和灰度图像中检测出指定大小和方向的矩形形状.

**关键词:** 矩形检测; 形态滤波器; 矩形形态滤波器

## Rectangular Form Filter

MEI Yue-Ping, TONG Wei-Qing, JIN Jun-Cai, DING Zhuo

(Department of Computer Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

**Abstract:** The rectangular form is a basic shape in the gray-scale image, and it's an important applications in image analysis. In order to effectively detect rectangular form in image, a rectangular form filter is proposed. Firstly, the structuring elements of the rectangular form filter are defined, and then two kinds of filtering mode are defined: order filtering and mean filtering. The experimental results show that our filter can effectively detecte the rectangular form specified the size and direction from binary images, binary images corruted by noise and gray-scale images.

**Key words:** rectangle detection; morphological filter; rectangular form filter

形状和形态是两个不同的概念, 一般来说, 形状指在二值图像中目标的几何形状, 而形态指在灰度图像中目标的一种视觉形态(一种具有某种几何形状的灰度分布). 矩形形状和形态都是一种最基本要素, 在图像分析中有着重要的应用. 例如, 矩形检测也可以用于复杂背景下二维条形码的定位, 以及汽车图像中的车牌检测.

既有矩形检测技术基本上是基于边缘和直线检测的方法. Zhu<sup>[1]</sup>提出了一种从灰度图像中检测矩形的方法, 该方法先提取图像中的直线边缘, 然后对这些直线边缘进行边缘连接处理, 通过比较这些直线的长度和方向来检测矩形. Tao<sup>[2]</sup>提出了一种能从航拍图像中检测矩形建筑物的方法, 该方法首先利用分割算法检测出图像中的边缘, 进而提取线段, 然后利用每一条

线段的起点、终点和方向来检测平行线, 接着将这些平行直线对组合成初始的矩形, 最后, 这些初始矩形被拟合成矩形. Jung<sup>[3]</sup>提出了一种基于窗口化 Hough 变换的矩形检测方法, 该方法使用一个环形窗口在图像中扫描, 并对窗口中的每个像素作 Hough 变换, 通过比较窗口中图像在 Hough 空间的参数, 检测出每个窗口内矩形的中心点, 这种方法能够精确检测出未知大小和方向的矩形, 但是大量像素点被重复计算, 复杂度高, 且需要人工参与确定环形窗口的参数.

既有矩形检测算法本质上是从小矩形的几何特征出发, 通过图像处理把“矩形形态”变换到“矩形形状”, 然后再进行检测的过程. 一般来说, 这种处理方法计算复杂度较高, 受噪声影响较大. 本文从“矩形形态”的特征出发, 提出了一种新型的矩形形态滤波器(以下

① 收稿时间:2012-03-08;收到修改稿时间:2012-04-19

简称 RFF, rectangular form filter). RFF 由形态结构元素和滤波模式所构成, 形态结构元素用以度量矩形形态的尺寸, 滤波模式定义了两种滤波方式: 序位滤波和序位均值滤波. 实验结果表明, RFF 可以有效地从二值图像、二值噪声图像和灰度图像中检测出指定大小和方向的矩形形状.

## 1 矩形形态滤波器

### 1.1 RFF 的原理

一幅灰度图像中如果存在一个区域  $R$ , 区域  $R$  内的灰度值与其周围的灰度值有一定的差值, 并且区域  $R$  又是矩形的, 那么区域  $R$  就是一个具有矩形形态的目标.

假设我们有矩形板和矩形框(图 3)这两种模板, 矩形板的大小与矩形框的内框大小一致, 并且等于矩形区域  $R$  的尺寸, 区域  $R$  比背景要亮. 当我们把矩形框和矩形板的中心分别移到区域  $R$  的中心位置时, 矩形框就套入区域  $R$ , 而矩形板由于无法套入而被高高顶起, 如图 1(a)所示. 根据矩形框和矩形板之间的落差就可以检测出该矩形形态的目标. 也就是说, 一定存在一个点(称为形态匹配点), 该点正好可以使矩形板套入, 并且矩形板和矩形框的落差大于某个给定的阈值.

如果把上述这两个模板放大一点, 那么就一定存在多个点, 这些点都可以使矩形框套入, 并且矩形板和矩形框的落差大于某个给定的阈值. 这些点形成一个连通域, 该连通域面积与矩形板和区域  $R$  的面积之差成正比, 即, 矩形板比区域  $R$  越大, 形态匹配点就越多.

如果待检测区域是下面几类情形的话, 就检测不出形态匹配点: (a)不是矩形形状(图 2(a)); (b)是矩形但是方向不对(图 2(b)); (c)比矩形板要大(图 2(c)); (d)矩形板和矩形框的落差小于给定阈值(图 2(d)).

由上述分析可知, 矩形板和矩形框的落差越大, 并且检测出来的形状匹配点越少(指形状匹配点组成的某个连通区域里的点数), 那么该区域越像矩形形态目标. 另外, 矩形板和矩形框的面积实际上反映了我们在检测矩形形态时的采样点数. 显然, 矩形框的面积合理地大一点, 就能提高矩形形态检测的鲁棒性.

为了计算矩形板和矩形框之间的落差, 我们先分别对矩形板和矩形框所对应的像素值进行从大到小的

排序, 然后用下面两种方式进行计算: (a)矩形板的第  $i$  位值 - 矩形框的第  $i$  位值; (b)矩形板的第  $i$  位前的平均值 - 矩形框的第  $i$  位前的平均值. 基于上述原理我们来设计 RFF.

### 1.2 RFF 定义

#### 1.2.1 RFF 定义

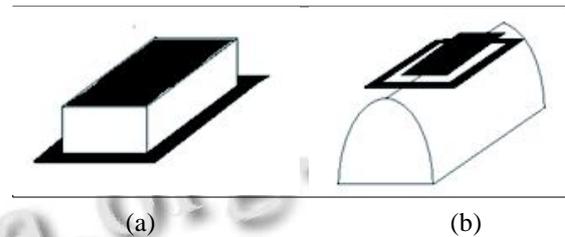


图 1 形态滤波器原理图

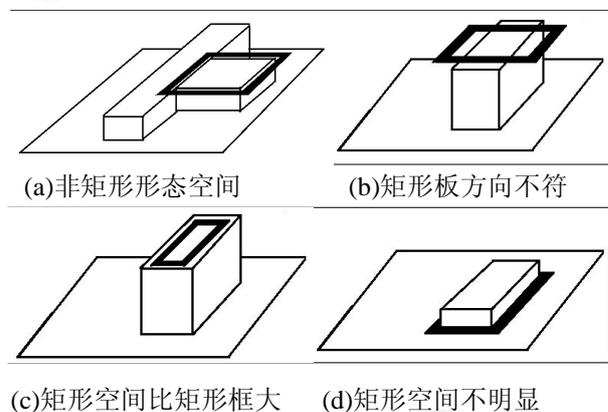


图 2 RFF 无法检测出矩形形态

表 1 RFF 的形态结构元素的各参数的定义

RFF 参数名	说明
$RFF\_F\_sn$	矩形框的序位数
$RFF\_F\_n$	矩形框中像素的总数
$RFF\_F\_l$	矩形框的长
$RFF\_F\_h$	矩形框的高
$RFF\_F\_wl$	矩形框左侧框的宽度
$RFF\_F\_wr$	矩形框右侧框的宽度
$RFF\_F\_wt$	矩形框上侧框的宽度
$RFF\_F\_wb$	矩形框下侧框的宽度
$RFF\_B\_sn$	矩形板的序位数
$RFF\_B\_n$	矩形板结构元素中像素的总数
$RFF\_B\_l$	矩形板的长
$RFF\_B\_h$	矩形板的高

RFF 由矩形框和矩形板两个形态结构元素构成, 如图 3 所示. RFF 的形态结构元素的各参数的定义如表 1 所示, RFF 的坐标系统如图 4 所示, 坐标原点在矩形框和矩形板的中间位置. 这里, RFF 的矩形板尺寸不大于矩形框内框的尺寸.

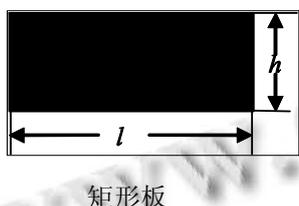
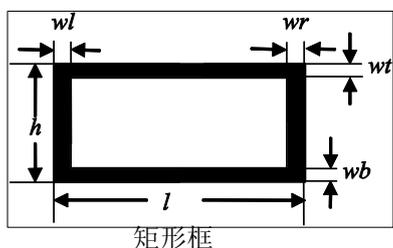


图 3 RFF 形态结构元素

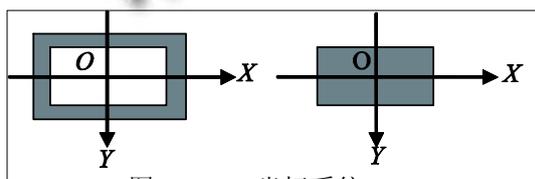


图 4 RFF 坐标系

### 1.2.2 RFF 的滤波运算

下面我们来定义 RFF 的 2 种滤波运算. 设滤波对象像素点为  $p(x, y)$ , 点  $p(x, y)$  处 RFF 所覆盖的图像区域为  $G_p$ ,  $vectF[i]$  和  $vectB[j]$  分别为矩形框和矩形板在  $G_p$  中所对应的像素点的灰度值(即, 矩形框中第  $i$  位和矩形板中第  $j$  位的灰度值), 并假定  $vectF[i]$  和  $vectB[j]$  的值都已经从大到小排序好了. 矩形框和矩形板的序位数分别为  $sn_f$  和  $sn_b$ . 定义式(1)为 RFF 在点  $p(x, y)$  的序位滤波运算, 定义式(2)为 RFF 在点  $p(x, y)$  的序位均值滤波运算.

$$MFDR_A(p) = vectB[sn_b] - vectF[sn_f] \quad (1)$$

$$MFDR_B(p) = \frac{\sum_{i=1}^{sn_b} vectB[i]}{sn_b} - \frac{\sum_{j=1}^{sn_f} vectF[j]}{sn_f} \quad (2)$$

对二值图像而言, 矩形框和矩形板内的像素值经过排序后只可能是 2 类值, 如果序位号取得适当(例如小于 50%), 那么 2 种滤波运算模式的结果是相同的.

对灰度图像而言, 由于噪声的影响, 矩形框和矩形板内的像素值经过排序后, 其噪声出现在序位号  $i$  之前的可能性依然存在, 因此采用式(1)的滤波模式显然不太合适, 而式(2)的滤波模式由于采用序位号  $i$  前的平均值, 所以可以有效地降低噪声的影响.

### 1.3 RFF 关于参数和滤波值的特性

RFF 的形态结构元素的参数和滤波模式变化时, 其滤波效果会发生变化, 下面我们给出 RFF 的一些主要特性.

#### A. 二值图像时的 RFF 特性

- 1) 当矩形框的内框尺寸小于目标矩形形态尺寸时, 该目标区域的滤波值为 0;
- 2) 当矩形框的内框尺寸大于或等于目标矩形形态尺寸时, 该目标区域有滤波响应, 其响应区域为一个小区域, 矩形框的内框越大, 该响应区域的面积就越大, 当矩形框的内框等于目标矩形形态尺寸时, 该响应区域就退缩为一点;

3) 矩形框的宽度影响 RFF 的鲁棒性, 适当提高矩形框的宽度, 可以显著提高抗噪声性能.

4) 二值图像时 2 种滤波模式都具有相同的滤波结果, 但使用序位滤波模式比序位均值滤波模式其处理速度要快.

#### B. 灰度图像时的 RFF 特性

1) 当矩形框的内框尺寸小于目标矩形形态尺寸时, 该目标区域的滤波值趋于 0;

2) 当矩形框的内框尺寸大于或等于目标矩形形态尺寸时, 该目标区域有一个滤波响应区域, 并存在一个最大响应值;

3) 矩形框的宽度影响 RFF 的鲁棒性, 适当提高矩形框的宽度, 可以显著提高抗噪声性能.

4) 序位均值滤波模式比序位滤波模式的鲁棒性要好许多.

### 1.4 矩形形态滤波的主要过程

- \* 设定 RFF 参数和确定待检测矩形形态的方向  $\alpha$ ;
- \* 对原图像旋转  $-\alpha$ ;
- \* 用设定好的 RFF 对图像行滤波处理;
- \* 对滤波结果进行进行阈值处理, 生成形状匹配点的二值图像;
- \* 对形状匹配点的二值图像进行标记处理, 求出每个标记域的中心, 然后抽出与矩形板一样大小的目标;

\* 对抽出的目标旋转  $\alpha$  角度.

## 2 验证实验

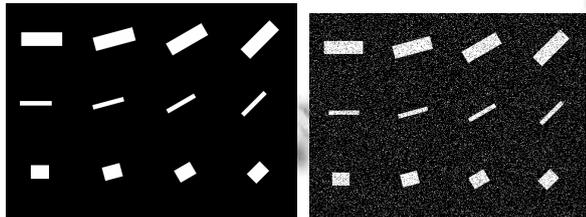
### 2.1 实验图像库

为了验证 RFF 滤波器的有效性,我们生成了 4 类图像库(表 2).

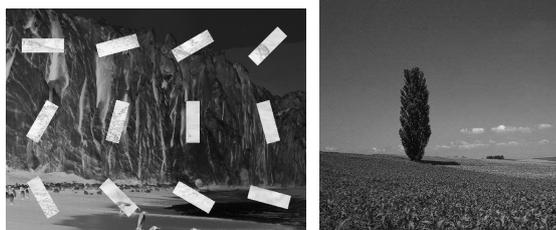
表 2 实验用图像库

名称	说明	图像数
图像库 A	各种矩形的二值图像	100
图像库 B	各种矩形的噪声图像	100
图像库 C	各种矩形形态的合成图像	100
图像库 D	含矩形形态的自然图像	10

图像库 A: 让矩形的长和宽分别从 10 像素变化到 100 像素(步长为 10 像素), 矩形角度以  $15^\circ$  的步长从  $0^\circ$  变化到  $180^\circ$ , 这样就得到 100 幅  $640 \times 480$  的各种大小和角度矩形的二值图像(每幅图像含 12 个矩形), 图 5(a)是其中的一幅图像. 图像库 B: 对图像库 A 中的所有图像施加 10% 的椒盐噪声, 从而生成 100 幅  $640 \times 480$  含有噪声的矩形图像, 图 5(b)是其中的一幅图像. 图像库 C: 先找 2 幅自然灰度图像, 一幅用作背景, 一幅用作前景, 前景图像比背景图像的平均灰度值要大些(以人眼感觉为准); 其次把背景图像作为图形库 A 中所有图像的背景, 最后把图形库 A 中所有图像分别覆盖前景图像上, 图像中矩形区域的灰度就是前景图像上的灰度, 从而生成 100 幅  $640 \times 480$  各种矩形形态的合成灰度图像, 图 5(c)是图像库 C 的一幅图像. 图像库 D: 含有矩形形状目标的  $370 \times 370$  完全自然的灰度图像, 图 5(d)是其中的一幅图像.



(a) 矩形的二值图像 (b) 含椒盐噪声的矩形二值图像



(c) 含矩形形态的合成图 (d) 含矩形形态的自然图像

图 5 各图像库中的图像

下面,我们分别在上述 4 类图像库上进行实验,用以考察和验证 RFF 性能.

### 2.2 图像库 A 的验证实验

以图 5(a)为例来说明 RFF 在图像库 A 上的实验过程. 图 5(a)中有 12 个矩形, 上排 4 个矩形的大小为  $90 \times 30$ , 中排 4 个矩形的大小为  $70 \times 10$ , 下排 4 个矩形的大小为  $40 \times 30$ , 左第 1 列 3 个矩形的角度为  $0^\circ$ , 左第 2 列 3 个矩形的角度为  $15^\circ$ , 左第 3 列 3 个矩形的角度为  $30^\circ$ , 左第 4 列 3 个矩形的角度为  $45^\circ$ . 实验目标是检测出大小为  $90 \times 30$ , 角度为  $45^\circ$  的矩形, 具体步骤如下:

#### 1) RFF 的参数设定

矩形板的大小与待检测的目标矩形大小一致, 矩形框宽度为 1, 采用序位滤波模式, 序位数为 1;

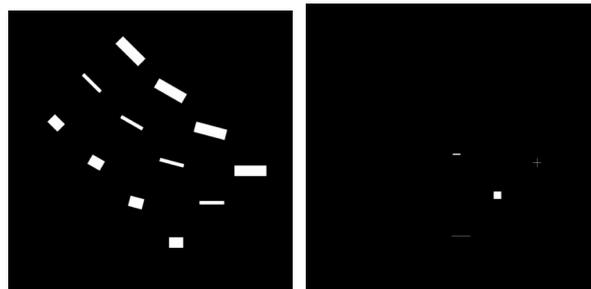
2) 对原图像进行  $-45^\circ$  旋转, 结果如图 6(a)所示.

3) 用上面设定好的 RFF 对图 6(a)进行滤波处理, 结果如图 6(b)所示. 根据 RFF 特性, 大于矩形板的矩形形状会被滤掉, 小于和等于矩形板的矩形形状被滤波后成为一个小区域, 区域越大, 表明对应的矩形形状越小, 当小区域退缩为一个点时, 待检测矩形形状与滤波板相等. 图 6(b)中有 4 个区域, 一个是孤立点(为了方便识别, 图像用一个十字表示)、其他 3 个是不同大小的矩形区域. 显然, 除了孤立点是待检测矩形的真正滤波结果外, 其他 3 个都不是.

4) 对上述滤波结果进行标记处理, 找出只有一个点的区域, 即待检测矩形所对应的真滤波结果区域, 如图 6(c)所示.

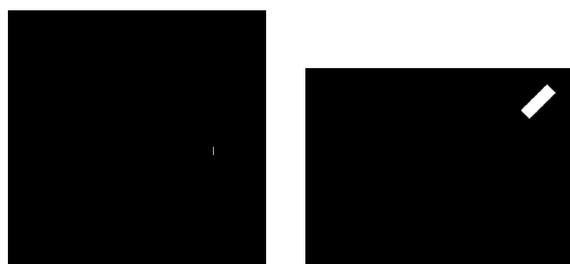
5) 把上述点旋转  $45^\circ$  后换算成原图像中的坐标, 接着根据该点的位置和滤波板的大小从原图像中检测出目标矩形, 结果如图 6(d)所示.

用上述步骤对图像库 A 进行了验证实验, 实验结果表明 RFF 可以正确地检测出所指定大小和角度的矩形.



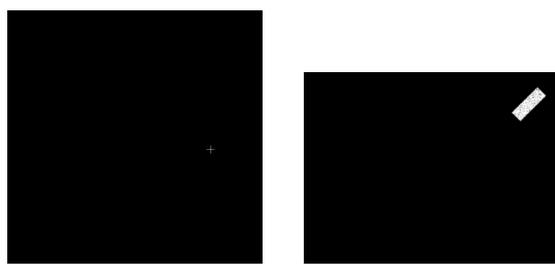
(a) 图 5(a)旋转  $-45^\circ$

(b) 左图的滤波结果



(c) 待检测矩形的滤波结果 (d) 被检测出的矩形

图 6 RFF 对二值矩形图像的滤波效果



(c) 待检测矩形的真滤波结果 (d) 被检测出的矩形

图 7 RFF 对二值矩形噪声图像的滤波效果

### 2.3 图像库 B 的验证实验

以图 5(b)为例来说明 RFF 在图像库 B 上的实验过程. 图 5(b)有 12 个矩形, 其矩形大小和角度与图 5(a)相同, 只不过施加了 10% 的椒盐噪声. 实验目标是检测出大小为  $90 \times 30$ , 角度为  $45^\circ$  的矩形, 具体步骤如下:

#### 1) RFF 的参数设定

矩形板的大小与待检测的目标矩形大小一致, 采用序位平均值滤波模式, 序位为 50% 位. 矩形框的宽度为  $k$ , 使  $k$  满足矩形框和矩形板的面积之差为最小;

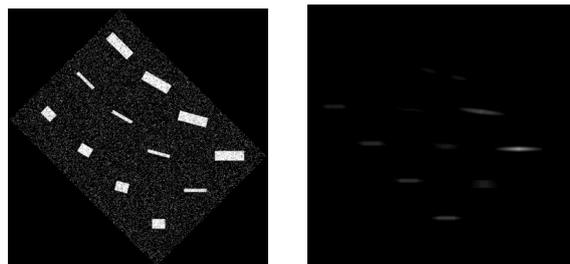
2) 对原图像进行  $-45^\circ$  旋转, 结果如图 7(a)所示.

3) 用上面设定好的 RFF 对图 7(a)进行滤波处理, 结果如图 7(b)所示. 根据 RFF 特性, 在灰度图像中与指定矩形形态越接近的形状, 其滤波值就越大, 反之就越小.

4) 寻找上述滤波结果图像的最大灰度值, 然后以该值作为阈值, 进行二值化处理, 结果如图 7(c)所示.

5) 进行标记处理, 找出该区域的重心, 并把该重心点旋转  $45^\circ$  后换算成原图像中的坐标, 接着根据该点的位置和滤波板的大小从原图像中检测出目标矩形, 结果如图 7(d)所示.

用上述步骤对图像库 B 进行了验证实验, 实验结果表明 RFF 可以从一幅受到噪声污染的图像中, 正确地检测出所指定大小和角度的矩形.



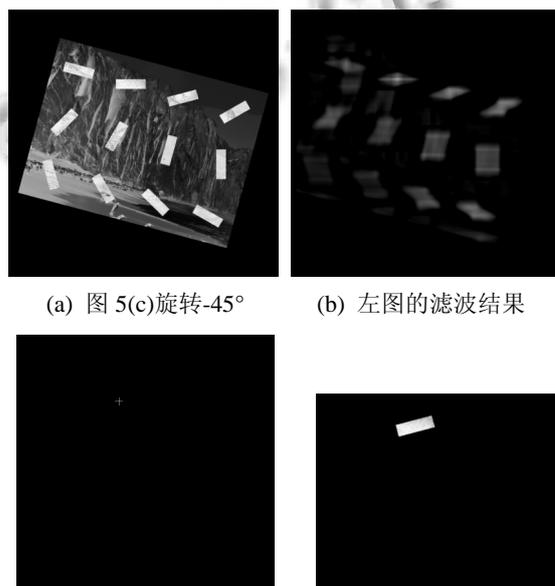
(a) 图 5(b)旋转-45° (b) 左图的滤波结果

### 2.4 图像库 C 的验证实验

以图 5(c)为例来说明 RFF 在图像库 C 上的实验过程. 图 5(c)有 12 个矩形, 其矩形大小和角度与图 5(a)相同, 只不过矩形灰度为某自然图像的灰度, 其背景为另一幅自然图像的灰度值. 实验目标是检测出大小为  $90 \times 30$ , 角度为  $15^\circ$  的矩形形态, 处理步骤与 2.3 相同.

图 8(a)为原图像旋转  $-15^\circ$  的图像. 图 8(b)为 RFF 进行滤波后的结果, 从图像可知, 滤波值最大的地方就是真待检测矩形形态的位置. 图 8(c)为经过阈值处理后获得的待检测矩形形态的真滤波值. 图 8(d)为检测出的矩形形态.

用上述步骤对图像库 C 进行了验证实验, 实验结果表明 RFF 可以从一幅合成灰度图像中, 正确地检测出所有指定大小和角度的矩形形态.



(a) 图 5(c)旋转-45° (b) 左图的滤波结果

(c)待检测矩形形态的滤波结果 (d)被检测出的矩形形态

图 8 RFF 对矩形形态合成图像的滤波效果

## 2.5 图像库 D 的验证实验

以图 5(d)为例来说明 RFF 在图像库 D 上的实验过程. 图 5(d)中有一颗树, 其形状类似于矩形形态, 大小约为  $45 \times 140$ . 实验目标是检测出大小约为  $45 \times 140$ , 角度为  $0^\circ$  的矩形状树. 由于树的整体灰度值比背景要小, 在处理时我们增加了一步图像反转处理, 其他处理步骤与 2.3 相同.

图 9(a)为原图像的反转图像. 图 9(b)为 RFF 进行滤波后的结果, 图 9(c)为经过阈值处理后获得的待检测树的真滤波值. 图 9(d)为检测出的树.

用上述步骤对图像库 D 进行了验证实验, 实验结果表明 RFF 可以从一幅自然灰度图像中, 正确地检测出所有指定大小和角度的矩形.

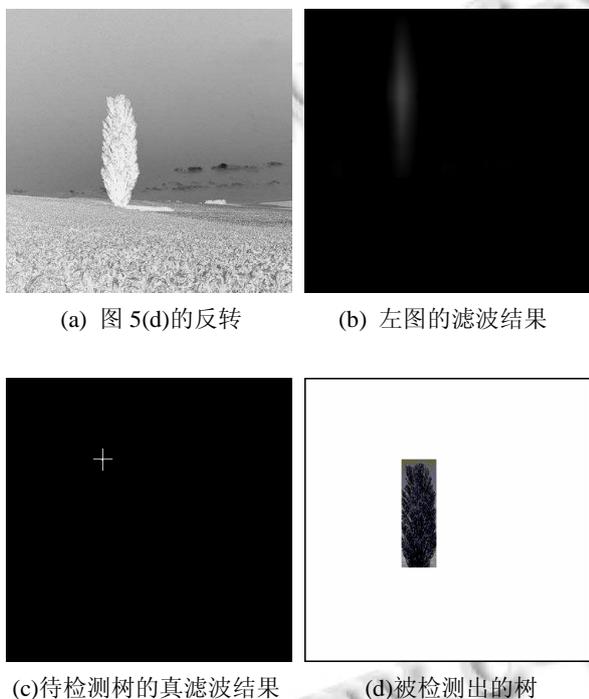


图 9 RFF 对矩形形态灰度图像的滤波效果

## 3 结语

RFF 是一种新型的矩形形态滤波器, 它不仅可以从二值图像中检测出矩形目标, 还可以直接从灰度图像中检测出矩形形态的目标. RFF 结构简单, 运算简便, 具有较强的鲁棒性.

被 RFF 检测出来的矩形形态, 虽然不会超出 RFF 所指定尺寸, 但是也不能保证被检测出来的形态就一定很像矩形, 如何在 RFF 内加入描述矩形的功能, 是今后研究课题.

## 参考文献

- 1 Zhu Y, Potter CC. Fast detection of genetic biological particles in cryoem images through efficient hough transforms. International Symposium for Biomedical Imaging, 2002:205-208.
- 2 Tao WB, Tian JW, Liu J. A new approach to extract rectangle building from aerial urban images. International Conference Oil Signal Processing, Beijing, 2000:143-146.
- 3 Jung CR, Schramm R. Rectangle Detection based on a Windowed Hough Transform. Brazil, 2004:113-120.
- 4 赵继印,徐艳蕾,焦玉斌.基于顺序形态学的图像边缘检测快速算法的研究.电子学报,2008,11(11):2195-2199.
- 5 吴敏金.图像形态学.上海:上海科学技术文献出版社,1991.
- 6 章毓晋.图像工程上册:图像处理与分析.1999.
- 7 李强兵,刘文予.基于 Hough 变换的快速矩形检测算法.微计算机信息(测控自动化),2007,23(11-1):248-250.
- 8 王红军,陈临强,宰,王磊.机器视觉中矩形几何提取和校正.机电工程,2010,27(4):95-97.
- 9 薛程,王士同.一种新的不基于 Hough 变换的随机椭圆检测算法.微计算机信息,2006(1).
- 10 Zhu Y, Potter CC. Fast detection of genetic biological particles in cryo-em images through efficient hough transforms. 2002.
- 11 Tao WB, Tian JW, Liu J. A new approach of extract rectangle building from aerial urban images. The Sixth International Conference on Information, Communications and Signal Processing. 2002.
- 12 朱芳芳,顾宏斌,孙瑾.一种改进的 Hough 变换直线检测算法.计算机技术与发展,2009,19(5):19-22.
- 13 Lagunovsky D, Ablameyko S. Straight-line-based primitive extraction in grey-scale object recognition. Pattern Recognition Letters. 1999(1).