

# 摘 要

红外热成像技术作为一种可以全天工作的成像技术，在军事、工业和民用等领域都有着广泛的应用。由于设备的限制，红外图像的视角比较窄，分辨率比较低，基于红外图像的特征提取与图像拼接算法可以解决当前红外图像视角窄的问题。

本文以 SIFT 特征为基础，研究了红外图像的特征提取、特征匹配和图像融合相关算法，最终通过图像拼接实验验证了图像拼接算法的可行性。

该论文有图 xx 幅，表 xx 个，参考文献 xx 篇。

**关键词：**SIFT; 特征提取; 特征匹配; 图像融合; 图像拼接

## **Abstract**

As an imaging technology which can work all day, infrared thermal imaging technology has a wide range of applications in military, industrial and civilian areas. Due to the limitation of the equipment, the infrared image has a narrow viewing angle and the resolution is relatively low. The feature extraction and image mosaic algorithm based on infrared image can solve the problem that the viewing angle of infrared image is narrow.

Based on the SIFT feature, this paper studies the feature extraction, feature matching and image fusion algorithm of infrared image. Finally, the feasibility of image mosaic algorithm is verified by image mosaic experiment.

**Keywords:** SIFT; feature extraction; feature matching; image fusion; image mosaic

# 目 录

摘要 . . . . .	I
目录 . . . . .	III
1 绪论 . . . . .	1
1.1 本课题的研究目的和意义 . . . . .	1
1.2 国内外研究状况 . . . . .	2
2 SIFT 算法 . . . . .	3
2.1 尺度空间极值检测 . . . . .	3
2.2 关键点精确定位 . . . . .	3
3 特征匹配 . . . . .	7
3.1 优先队列 . . . . .	7
4 RANSAC 算法 . . . . .	9
5 图像融合 . . . . .	10
5.1 改进的加权平均法 . . . . .	10
6 总结 . . . . .	11
参考文献 . . . . .	12

# Contents

<b>Abstract</b> . . . . .	<b>II</b>
<b>Contents</b> . . . . .	<b>IV</b>
<b>1 Introduction</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 The purpose and significance of this research . . . . .	1
1.2 Research status at home and abroad . . . . .	2
<b>2 SIFT algorithm</b> . . . . .	<b>3</b>
2.1 Scale-space extrema detection . . . . .	3
2.2 Keypoint localization . . . . .	3
<b>3 Feature matching</b> . . . . .	<b>7</b>
3.1 Priority queue . . . . .	7
<b>4 RANSAC algorithm</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>5 Image fusion</b> . . . . .	<b>10</b>
5.1 Improved weighted mean method . . . . .	10
<b>6 Summaries</b> . . . . .	<b>11</b>
<b>References</b> . . . . .	<b>12</b>

# 1 绪论

## 1 Introduction

### 1.1 本课题的研究目的和意义

### 1.1 The purpose and significance of this research

自 2017 届毕业生开始, 中国矿业大学本科生毕业论文的格式要求变得比以前更加规范了, 本  $\text{\LaTeX}$  模板是由个人根据中国矿业大学本科生毕业论文的要求逐渐调整最终达到和 word 在字体、字号、页边距、页眉页脚距离等要求基本一致的效果的一个模板。学校给过一个本科论文的模板, 毫无疑问, 学校给的模板是 word 的。而且, 对格式的要求比如行距多少磅、字号大小等, 都是采用的微软公司的 word 的标准, 而  $\text{\LaTeX}$  在这些参数方面和 word 的标准是不一样。

所以, 调整格式的整个过程是比较繁琐的, 希望本模板可以减少以后需要使用  $\text{\LaTeX}$  写毕业论文的矿大本科毕业生的工作量, 专注于内容, 减少在格式上消耗的时间。本人在离开学校后把这个模板 (姑且称为模板吧, 本人  $\text{\LaTeX}$  水平并不高, 跟 THU、SJTU、USTC、XJTU 等高校的牛人做出来的模板比起来, 差的太远了, 惭愧) 分享出来, 算是在离开之后留下一些东西吧。

本模板的中文解决方案是  $\text{Xe}\text{\LaTeX}$ +ctex 宏包, 源文件编码为 UTF8, 推荐安装 texlive, 基本所有的宏包都有了。./simpleMake.sh 是进行一次编译的, ./clean.sh 是清除日志等各种辅助文件的。./make.sh 是进行完整编译的, 并包含几条 sed 命令, 这是因为生成的个别参考文献无法完全满足矿大本科毕业论文的要求。而 bibtex 管理参考文献时采用 bst 文件定义格式, 该文件采用逆波兰表示法, 个人感觉是一种反人类的令人痛苦的语法, 与其修改 bst 文件, 不如用 sed 结合正则表达式直接改.bbl 文件来的快。

关于参考文献的管理, 使用 bibtex 管理参考文献, 需要把本目录中的 cumtunsrnat.bst 放在 texlive 的安装目录下, 和 texlive 自己的 unsrnat.bst 在同一个目录。比如, 我的是在 D:\Bin\texlive\texlive2016\texmf-dist\bibtex\bst\natbib 下。

其实这个 cumtunsrnat.bst 和 texlive 自己的 unsrnat.bst 区别很小, 我只是在 unsrnat.bst 的基础上修改了少量的几行。

如果不想使用本目录下的几个 shell 小脚本编译, 直接一条一条敲命令也是可以的, 当然使用 IDE 也行, 这根据个人喜好。我自己是安装了 windows 版的 git, 该软件自带一个终端模拟器 git-bash, 还提供了 sed、grep、awk、find 等强大的 unix 命令, 连 perl 都有, 非常好用。编辑器采用 vim(也是 windows 版的 git 提供的), notepad++ 也比较好的, 根据个人喜好

选择自己的编辑器吧。像毕业论文这样的大工程，还是有一个版本控制工具比较好，随时查看历史版本，我用的是 `git`，大家也可以用自己喜欢的。自从有了 `git`，后悔药不再是梦想。

在图像拼接过程中，确定图像间的位置关系是比较关键的一个步骤。图像拼接的效果在很大程度上受位置关系的精度的影响<sup>[1,2]</sup>。

## 1.2 国内外研究状况

### 1.2 Research status at home and abroad

图像拼接的过程，不同的学者有不同的划分方法，但总体方向是不会有太大的差别的，关键环节主要包括特征提取、特征匹配和图像融合。图像融合在整个过程中对于算法时间复杂度的贡献不太大，图像融合速度上的提升对于整个拼接过程的速度不会有决定性的作用，目前已经存在的算法足以满足需求，所以总体上来说已经有比较成熟的算法了。

## 2 SIFT 算法

## 2 SIFT algorithm

### 2.1 尺度空间极值检测

### 2.1 Scale-space extrema detection

简单的数学公式示例:

只有一种线性核可以用于实现尺度变换, 它就是高斯核, 这已经得到 Linderberg 等人的证明<sup>[3]</sup>。尺度空间  $L(x, y, \sigma)$  表示如下:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (2-1)$$

其中,  $I(x, y)$  为待处理图像,  $*$  代表卷积运算,  $G(x, y, \sigma)$  为高斯函数<sup>[4]</sup>。对于二维情形, 高斯函数形式如下:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/(2\sigma^2)} \quad (2-2)$$

#### 2.1.1 高斯差分金字塔

高斯差分金字塔中的层是由高斯金字塔中相邻的层相减得到的, 在得到高斯差分金字塔前, 要先构造出高斯金字塔。其组数  $octv$  由下式确定:

$$octv = \log_2\{\min(M, N)\} - t, t \in [0, \log_2\{\min(M, N)\}] \quad (2-3)$$

再来个简单的插图与引用图的示例:

如图 2-1 所示, 右边就是高斯差分金字塔, 从图中可以看出它的形成过程。

## 2.2 关键点精确定位

### 2.2 Keypoint localization

#### 2.2.1 关键点的插值计算

在插值计算这一步聚中, 有一些点的像素值太小了, 这些点应该被舍弃, 因为像素值过小的点抗干扰能力比较弱<sup>[4]</sup>。对 DoG 函数进行展开, 有:

$$D(\mathbf{x}) = D + \frac{\partial D^T}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{x} + \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \frac{\partial^2 D}{\partial \mathbf{x}^2} \mathbf{x} \quad (2-4)$$

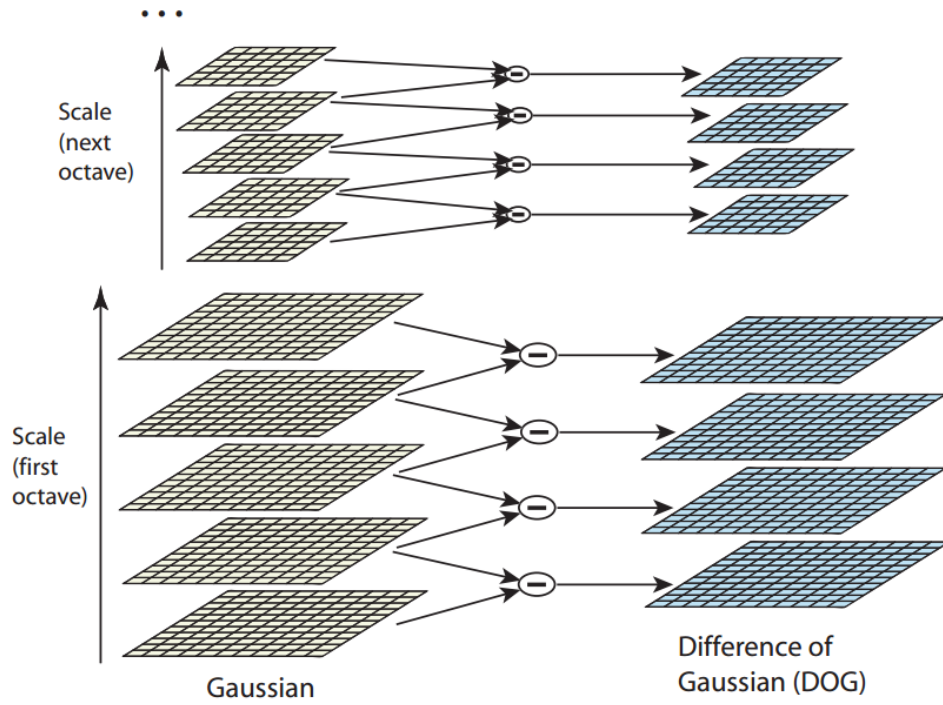


图 2-1 左边相邻层图像两两相减得到右边图像<sup>[4]</sup>。

Figure 2-1 Adjacent images on the left is subtracted each other to get images on the right<sup>[4]</sup>.

简单的矩阵排版示例：

其中， $\mathbf{x} = [x, y, \sigma]^T$ ，而  $\frac{\partial D}{\partial \mathbf{x}}$  和  $\frac{\partial^2 D}{\partial \mathbf{x}^2}$  的计算方法如式 (2-5) 所示。

$$\frac{\partial D}{\partial \mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial D}{\partial x} \\ \frac{\partial D}{\partial y} \\ \frac{\partial D}{\partial \sigma} \end{bmatrix}, \quad \frac{\partial^2 D}{\partial \mathbf{x}^2} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 D}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 D}{\partial x \partial \sigma} \\ \frac{\partial^2 D}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 D}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 D}{\partial y \partial \sigma} \\ \frac{\partial^2 D}{\partial \sigma \partial x} & \frac{\partial^2 D}{\partial \sigma \partial y} & \frac{\partial^2 D}{\partial \sigma^2} \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

多行公式一个编号：

$$\begin{aligned} D_{xx} &= D(x+1, y) + D(x-1, y) - 2D(x, y) \\ D_{xy} &= \frac{D(x-1, y-1) + D(x+1, y+1) - D(x+1, y-1) - D(x-1, y+1)}{4} \\ D_{yy} &= D(x, y+1) + D(x, y-1) - 2D(x, y) \end{aligned} \quad (2-7)$$

如果插图中有多个子图，目前我所知道的灵活性最大的方法是使用 `subfigure` 环境。可给图加标题和子标题，子标题的位置可上可下，引用图的编号时可分别引用图和子图，具体操作请看源代码。



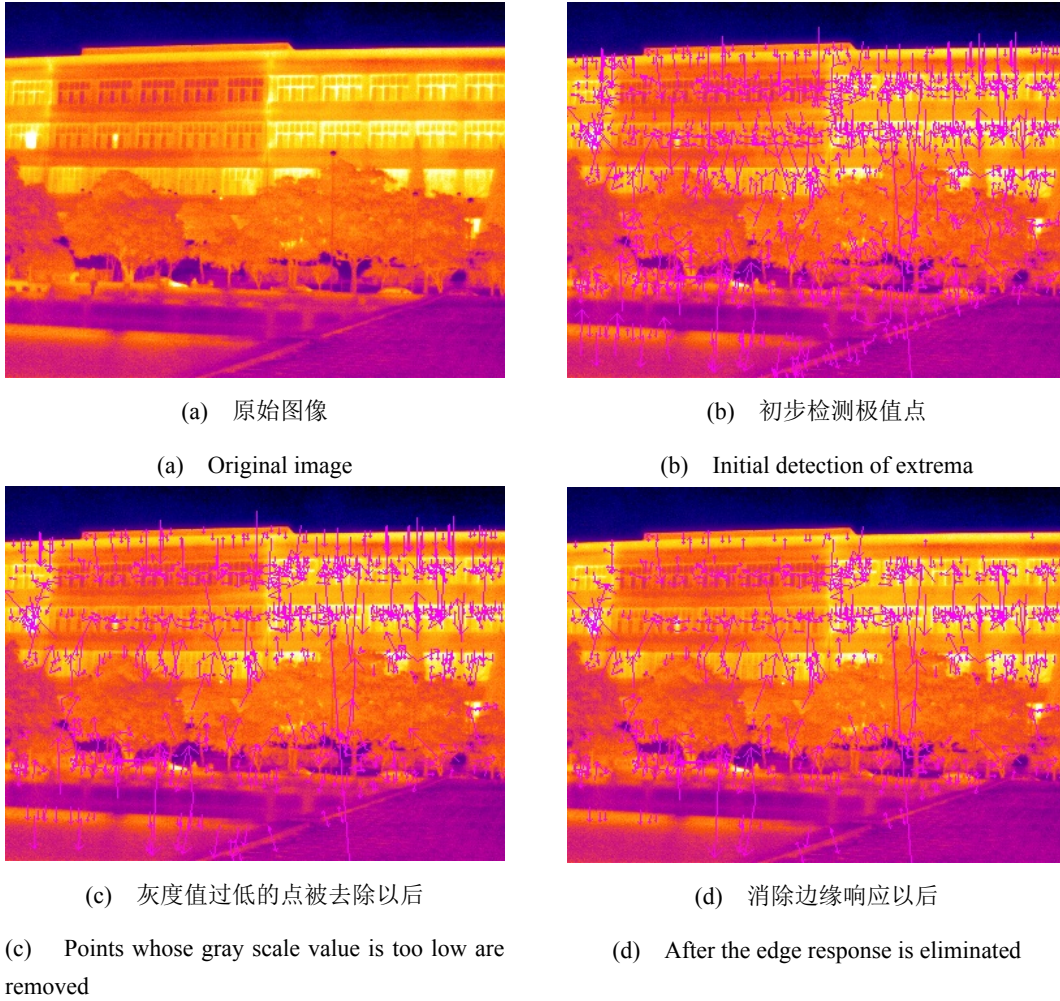


图 2-2 逐渐剔除不稳定点的过程。其中，(b) 中有 1301 个关键点，(c) 中有 918 个关键点，(d) 中有 792 个关键点。

Figure 2-2 The process of eliminating unstable points. There is 1301 keypoints in (b), 918 keypoints in (c), 792 keypoints in (d).

下面的实验说明了上面这些处理的效果。如图 2-2 所示。

`tikz` 宏包是一个非常强大的画图宏包，文档就有 1100 多页，这里给出一个简单的例子。

将坐标轴旋转一定角度以使  $x$  轴的方向与特征点的幅值最大的方向保持一致。这样，提取出的特征点不会随着图像的角度而变化，图 2-3 给出了旋转前后的对比。

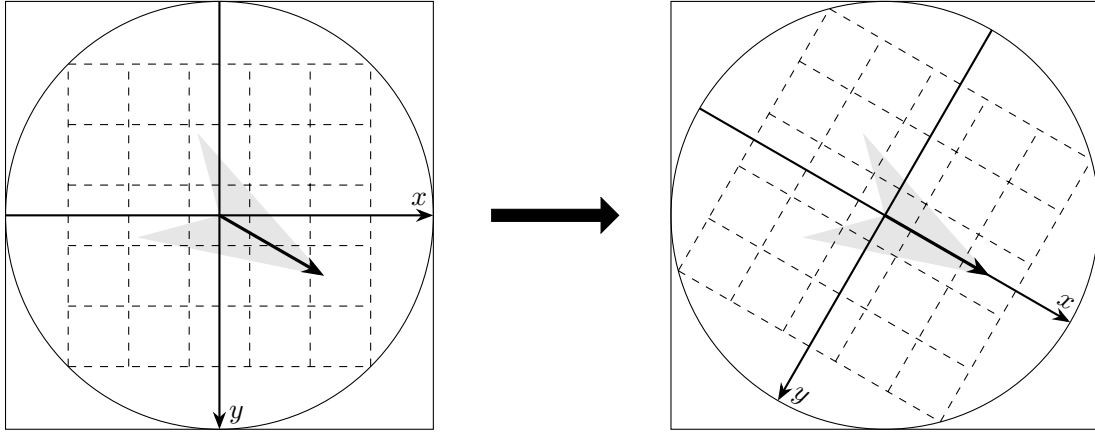


图 2-3 旋转坐标轴。

Figure 2-3 Rotate the axis.

## 3 特征匹配

## 3 Feature matching

这里给出一个用 tikz 宏包画流程图的例子：

构造  $k$ - $d$  树的流程如图 3-1 所示。

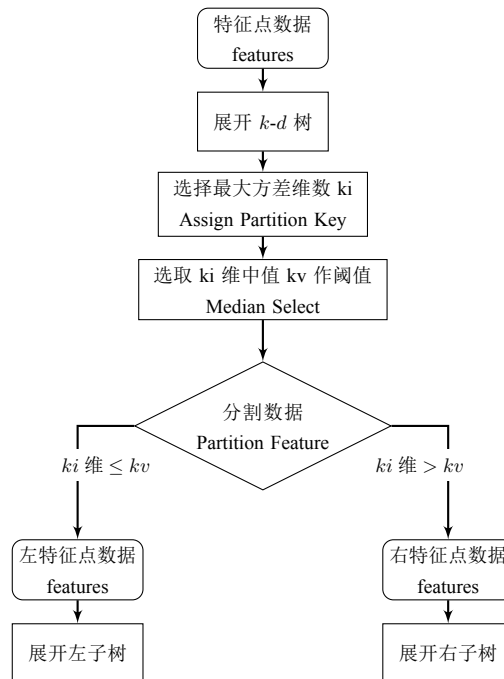


图 3-1 构造  $k$ - $d$  树的流程图。

Figure 3-1 Flow chart of constructing a  $k$ - $d$  tree.

### 3.1 优先队列

### 3.1 Priority queue

在 BBF 算法中用到了一种数据结构，它就是优先队列，优先队列可以用最小堆来构造<sup>[5]</sup>。

#### 3.1.1 堆

#### 3.1.2 堆的性质的维持

维持最小堆的性质的过程称为 MIN-HEAPIFY，其输入值为数组  $A$  和一个索引  $i$ 。调用该过程的假设是： $A[i]$  的左孩子和右孩子已经是最小堆，但不保证  $A[i]$  小于它的两个子

树的根。

MIN-HEAPIFY( $A, i$ )

1.  $l = \text{GET-LEFT}(i)$
2.  $r = \text{GET-RIGHT}(i)$
3. **if**  $l \leq A.\text{heap-size}$  **and**  $A[l] < A[i]$
4.      $\text{smallest} = l$
5. **else**  $\text{smallest} = r$
6. **if**  $r \leq A.\text{heap-size}$  **and**  $A[r] < A[i]$
7.      $\text{smallest} = r$
8. **if**  $\text{smallest} \neq i$
9.     exchange  $A[i]$  with  $A[\text{smallest}]$
10. MIN-HEAPIFY( $A, \text{smallest}$ )

## 4 RANSAC 算法

### 4 RANSAC algorithm

假设这 4 对匹配点的坐标为  $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3); (x'_0, y'_0), (x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2), (x'_3, y'_3)$ , 则有

$$\begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_0x_0 & -x'_0y_0 \\ x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_1x_1 & -x'_1y_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_2x_2 & -x'_2y_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_3x_3 & -x'_3y_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_0 & y_0 & 1 & -y'_0x_0 & -y'_0y_0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -y'_1x_1 & -y'_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -y'_2x_2 & -y'_2y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -y'_3x_3 & -y'_3y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{00} \\ h_{01} \\ h_{02} \\ h_{10} \\ h_{11} \\ h_{12} \\ h_{20} \\ h_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_0 \\ x'_1 \\ x'_2 \\ x'_3 \\ y'_0 \\ y'_1 \\ y'_2 \\ y'_3 \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

三线表格可用 `booktabs` 宏包做:

采用不同图像进行特征匹配, 利用  $k$ - $d$  树搜索得到的匹配对数与利用 RANSAC 算法得到的匹配对数如表4-1 所示。

表 4-1  $k$ - $d$  树搜索与 RANSAC 算法匹配特征点数目对比

Table 4-1 Comparison of number of matched feature points between  $k$ - $d$  tree search and RANSAC algorithm

左图特征点数	右图特征点数	$k$ - $d$ 树搜索匹配对数 $m1$	RANSAC 算法匹配对数 $m2$	$m2/m1$
310	259	64	57	0.891
1063	1312	526	497	0.945
792	668	195	164	0.841

## 5 图像融合

## 5 Image fusion

### 5.1 改进的加权平均法

### 5.1 Improved weighted mean method

不同条件函数取不同值，这样的公式排版如下：

$$I(x, y) = \begin{cases} I_1(x, y) & |I_1(x, y) - I_2(x, y)| > threshold, k_1 > k_2 \\ k_1 I_1(x, y) + k_2 I_2(x, y) & |I_1(x, y) - I_2(x, y)| < threshold \\ I_2(x, y) & |I_1(x, y) - I_2(x, y)| > threshold, k_1 < k_2 \end{cases} \quad (5-1)$$

再用 tikz 画一个图：

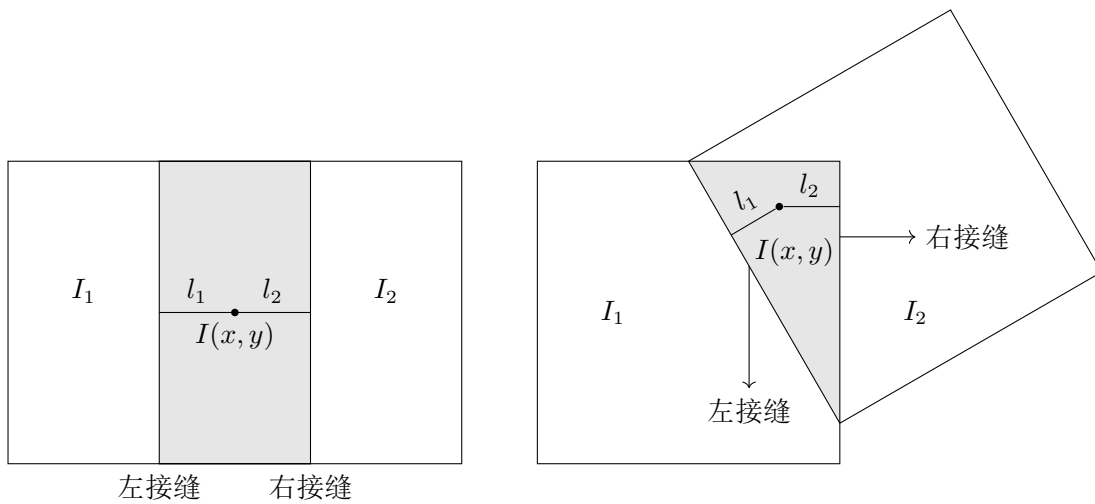


图 5-1 改进的加权平均法, 用于有旋转变换的图像。

Figure 5-1 Improved weighted mean method which is used for images with rotational transformations.

## 6 总结

## 6 Summaries

总结就是对自己工作的总结。

## 参考文献

- [1] Ezzeddine Zagrouba, Walid Barhoumi, and Slim Amri. An efficient image-mosaicing method based on multifeature matching[J]. *Machine Vision and Applications*. 2009, 20(3):139–162.
- [2] Jinwei Chen, Huajun Feng, Kecheng Pan, Zhihai Xu, and Qi Li. An optimization method for registration and mosaicking of remote sensing images[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*. 2014, 125(2):697–703.
- [3] Tony Lindeberg. Scale-space theory: A basic tool for analyzing structures at different scales[J]. *Journal of applied statistics*. 1994, 21(2):225–270.
- [4] David G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. *International journal of computer vision*. 2004, 60(2):91–110.
- [5] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, and Clifford Stein. Introduction to algorithms[M]. Massachusetts: MIT press, 2009, 152–164.