



武汉大学

WUHAN UNIVERSITY



武汉大学遥感信息工程学院
School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University

笃志 敦行 和协 拓新

MATLAB 编程大实践

实验报告 3

——2024-2025 学年第一学期 MATLAB 课程实习

基于 MATLAB 多项式变换的遥感影像几何校正方法的研究

姓 名 :	杨 丹 阳
学 号 :	2023302131259
学 校 :	1 8 9 3 武汉大学
学 院 :	遥感信息工程学院
专 业 :	遥感科学与技术
课 程 :	Matlab 遥感应用
指导老师 :	谭 喜 成

二〇二四 年 十二 月

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文（设计），是本人在指导教师的指导下，严格按照学校和学院有关规定完成的。除文中已经标明引用的内容外，本论文（设计）不包含任何其他个人或集体已发表及撰写的研究成果。对本论文（设计）做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人承诺在论文（设计）工作过程中没有伪造数据等行为。若在本论文（设计）中有侵犯任何方面知识产权的行为，由本人承担相应的法律责任。

作者签名： 杨丹阳
日期： 2024 年 12 月 8 日

版权使用授权书

本人完全了解武汉大学有权保留并向有关部门或机构送交本论文（设计）的复印件和电子版，允许本论文（设计）被查阅和借阅。本人授权武汉大学将本论文的全部或部分内容编入有关数据进行检索和传播，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本论文（设计）。

作者签名： 杨丹阳
日期： 2024 年 12 月 8 日

摘要

本文介绍了基于 MATLAB 的遥感影像几何校正方法的研究。该研究通过多种特征检测算法（SURF、Harris、Shi-Tomasi、SIFT、ORB、FAST 等）自动选取控制点，并使用多项式变换模型进行几何校正。同时，为了评估校正效果，计算了校正后图像与参考图像之间的峰值信噪比（PSNR）。实验结果表明，所提出的几何校正方法能够有效提高遥感影像的质量。

关键词：遥感影像，几何校正，特征点检测，多项式变换模型，PSNR



ABSTRACT

In the field of image processing, geometric transformations serve as crucial preprocessing steps for addressing practical issues such as document scanning corrections, 3D scene reconstruction, and remote sensing image acquisition. This experiment aims to develop a comprehensive process for correcting geometric distortions in images caused by factors like camera shooting angles and lighting conditions, implemented using MATLAB. The specific methods include separating RGB channels of distorted images, detecting vertex coordinates, cropping, applying perspective transformation, and stretching for restoration. To objectively evaluate the quality of image restoration, the Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) is introduced as a quantitative metric to compare the reconstructed image with the original image. In this experiment, the author designed a custom algorithm-based image processing scheme and conducted a comparative study with MATLAB's built-in functions, **fitgeotrans** and **imwarp**. Results show that both approaches effectively accomplish geometric distortion correction, with the built-in functions slightly outperforming in terms of computational efficiency and final PSNR values. The experimental outcomes demonstrate that the adopted method accurately transforms distorted images into target views and provides effective metrics for evaluating image quality. Moreover, the learning process deepened the understanding of the principles of geometric transformations and highlighted MATLAB's importance as a powerful tool in scientific research and technical development.

Keywords: MATLAB; image processing; geometric transformations; perspective transformation; PSNR; remote sensing applications

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	II
目 录	III
1 绪论	1
1.1 实验背景	1
1.2 实验目的	1
1.3 问题描述	1
2 实验原理	2
2.1 控制点匹配	2
2.1.1 SURF (Speeded-Up Robust Features)	2
2.1.2 Harris 角点检测	2
2.1.3 Shi-Tomasi 角点检测 (最小特征值法)	3
2.1.4 SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)	3
2.1.5 ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)	4
2.1.6 FAST (Features from Accelerated Segment Test)	4
2.2 建立多项式变换模型	5
2.3 进行几何纠正	6
2.4 图像质量评价 (PSNR 计算)	7
3 实验步骤	8
3.1 预备工作	8
3.2 使用特征匹配的方式获得控制点的坐标	10
3.3 从文件中加载控制点	23
3.4 建立多项式变换模型	27
3.5 进行几何校正	30
3.6 计算 PSNR	32
4 实验结果	34
4.1 纠正前后效果图	34

4.2 实验日志记录	35
4.3 过程图像记录	37
4.4 中间数据文件	39
4.5 实验结果分析	40
4.5.1 特征点检测算法的选择	40
4.5.2 多项式变换模型的选择	40
4.5.3 PSNR 值评估	40
5 实验结论	41
5.1 实验结论	41
5.2 实验心得体会	41
参考文献	43
致 谢	44
附 录	45



1 绪论

1.1 实验背景

随着遥感科学与技术的不断发展，获取高质量的遥感影像是地理信息系统（GIS）、城市规划等领域的重要需求。然而，由于传感器误差、大气条件等因素的影响，实际获取的遥感影像往往存在几何失真。为了解决这一问题，本研究提出了一种基于特征点匹配与多项式变换的遥感影像几何校正方法，旨在提高影像的精度和可靠性。

1.2 实验目的

使用 MATLAB 校正出现了几何变形的遥感影像。

1.3 问题描述

在本次实验中，首先需要获取在两张图像上具有相同地理含义的同名点（又称像控点、特征点）作为待校正影像和参考影像之间用于几何变换的控制点。然后，基于上述控制点坐标信息对建立多项式变换模型，以实现从扭曲空间到正常空间的映射。应用得到的变换模型对原始扭曲影像进行重采样，得到几何校正后的影像。最后，可以通过计算校正后影像与参考影像间的 PSNR 值来量化校正的效果。

2 实验原理

本实验基于多项式变换模型的几何校正方法通过使用控制点进行几何校正，消除影像的几何畸变。具体原理如下：

2.1 控制点匹配

为了实现图像的几何变换，首先需要选取两张图像中的控制点，这些点必须在两张图像中具有明确的对应关系。本实验中，作者通过多种特征点检测和匹配算法（SURF、Harris、Shi-Tomasi、SIFT、ORB 和 FAST）来选择和匹配图像中的控制点。接下来将详细解释每种特征点检测和匹配算法的原理，包括它们如何提取图像中的特征点，并将这些点在不同图像之间进行匹配。

2.1.1 SURF (Speeded-Up Robust Features)

SURF 是一种基于 Hessian 矩阵的特征点检测算法，它能够在不同尺度上提取图像的局部特征。与 SIFT 相比，SURF 在计算速度上有较大改进，尤其适用于实时处理任务。

步骤：

特征点检测：通过 Hessian 矩阵计算每个点的响应值，响应值高的点是潜在的特征点。

特征描述符：SURF 通过在特征点的邻域内计算 Haar 小波响应，生成一个简洁且描述力强的特征向量。

匹配：利用特征描述符进行匹配，通常使用最近邻方法来匹配特征点。

优点：具有较高的速度和较强的鲁棒性，能够适应旋转、尺度变化和轻微的光照变化。

应用：主要应用于图像配准、物体识别和三维重建等领域。

3.1.2 Harris 角点检测

Harris 角点检测是一种基于图像梯度的角点检测方法，通过计算图像每个

点的局部变化来识别角点。Harris 角点通过计算图像区域的自相关矩阵（即梯度的二阶矩阵）来进行判断。

步骤：

梯度计算：计算图像在水平和垂直方向上的梯度（即图像的变化率）。

自相关矩阵：根据图像的梯度信息，构建自相关矩阵。

角点响应值：计算矩阵的特征值，根据特征值的大小判断该点是否为角点。响应值越大，说明该点越可能是角点。

优点：Harris 角点检测对噪声有一定的鲁棒性，且能够检测到图像中的强角点。

应用：Harris 角点常用于图像特征提取，尤其是在光照不均匀或部分遮挡的情况下。

3.1.3 Shi-Tomasi 角点检测（最小特征值法）

Shi-Tomasi 角点检测方法是 Harris 角点检测的改进，它通过最小特征值来判断图像中的角点。与 Harris 方法不同，Shi-Tomasi 方法直接使用自相关矩阵的最小特征值来判断特征点。

步骤：

计算梯度：和 Harris 方法一样，首先计算图像的梯度。

最小特征值判断：通过计算自相关矩阵的最小特征值，如果该特征值大于一个阈值，则该点为角点。

优点：比 Harris 更加稳定和高效，尤其在实时应用中表现较好。

应用：主要用于实时图像处理和特征点跟踪（如光流法和结构从运动）。

3.1.4 SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)

SIFT 是一种能够在不同尺度上提取图像局部特征的算法，其核心思想是通过尺度空间理论来识别和描述图像中的局部特征。SIFT 具备较强的旋转、尺度、光照变化鲁棒性。

步骤：

尺度空间构建：通过高斯模糊将图像分解成不同尺度，生成尺度空间。

特征点检测：通过寻找尺度空间中的极值点（即在多尺度中局部最大或最小值）来确定特征点。

特征描述符：在每个特征点周围计算梯度方向和幅值，生成旋转不变的特征描述符。

特征匹配：通过计算特征描述符之间的距离，找到匹配的特征点。

优点：对旋转、尺度变化非常鲁棒，能够应对较大的视角变化和部分遮挡。

应用：用于大规模图像匹配、三维重建、物体识别等。

3.1.5 ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)

ORB 是一种基于 FAST 角点检测和 BRIEF 描述符的结合方法，它不仅能够快速检测特征点，还能够提供对旋转的鲁棒性。ORB 是一种高效、计算上比 SIFT 和 SURF 更加轻量级的特征点检测方法。

步骤：

FAST 特征检测：ORB 使用 FAST 算法来检测角点。

角点方向计算：ORB 为每个角点分配一个方向，使得描述符对旋转具有不变性。

BRIEF 描述符：ORB 使用 BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) 描述符来表示特征点的局部信息，这是一种基于二进制编码的特征描述符。

特征匹配：ORB 使用汉明距离来匹配特征点。

优点：ORB 结合了 FAST 的高速度和 BRIEF 的高效性，且对旋转不变。与 SIFT 和 SURF 相比，ORB 是开源的，计算速度更快，适合实时应用。

应用：用于机器人视觉、物体识别、实时匹配等。

3.1.6 FAST (Features from Accelerated Segment Test)

FAST 是一种高效的角点检测算法，通过检查图像中每个像素周围邻域亮度变化来判断该点是否为角点。FAST 通过加速算法实现了特征点检测的快速性。

邻域检查：对于每个像素，检查其周围像素的亮度变化。如果有多个像素的亮度与当前像素有显著差异，就认为该点为角点。

角点响应：检测的结果基于周围像素亮度的变化。

优点：非常快速，适合实时应用，尤其在对计算时间有要求的场景下。

应用：用于实时的角点检测和图像配准，尤其适用于快速移动的场景或高帧率的视频处理。

2.2 建立多项式变换模型

通过提取并匹配这些控制点，可以建立一个多项式变换模型。多项式变换模型是一种用来描述几何变换的方法，通过多项式函数将一个平面坐标系中的点映射到另一个平面坐标系中的点。该模型能够表示复杂的几何关系，包括线性变换（如平移、旋转、缩放）和非线性变换（如畸变修正）。

以二次多项式变换公式为例，在二维平面中，设参考图像中的点 (x, y) 映射到目标图像中的点 (u, v) ，二次多项式变换模型的形式如下：

$$\begin{aligned} u &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \\ v &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \end{aligned}$$

其中， (x, y) 是参考图像中的坐标， (u, v) 是目标图像中的坐标。

a_i, b_i 是模型的参数，通过匹配点计算得到。其中，一次项参数 (a_1, a_2, b_1, b_2) 表示线性变换，包含平移、旋转、缩放和剪切等；二次项参数 $(a_3, a_4, a_5, b_3, b_4, b_5)$ 表示非线性变换，用于描述复杂的畸变（如透视失真或镜头畸变）；常数项 (a_0, b_0) 用于表示全局的平移操作。

要建立二次多项式变换模型，需要一组已知的控制点。这些控制点在参考图像和目标图像中是相互对应的。假设有 n 对控制点 (x_i, y_i) 和 (u_i, v_i) ，我们可以通过以下步骤求解模型参数：

将上述公式写成矩阵形式：

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & x_n y_n & y_n^2 \end{bmatrix}$$

简写为：

$$\mathbf{U} = \mathbf{XA}, \mathbf{V} = \mathbf{XB}$$

其中， $\mathbf{U} = [u_1, u_2, \dots, u_n]^T$ ， $\mathbf{V} = [v_1, v_2, \dots, v_n]^T$ ， \mathbf{X} 是一个维度为 $n \times 6$ 的设计矩阵， $\mathbf{A} = [a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6]^T$ ， $\mathbf{B} = [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6]^T$ 。

然后使用最小二乘法求解参数：

$$\mathbf{A} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{U}, \mathbf{B} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{V}$$

通过控制点的坐标，拟合出二次多项式变换模型。

在图像校正的实际应用中，多项式变换是通过像素插值实现的。对于目标图像的每个像素点 (u, v) ，通过模型逆变换计算出对应的参考图像坐标 (x, y) ，然后用插值方法（如双三次插值）计算该点的灰度值。

2.3 进行几何纠正

通过使用所得的多项式模型的系数可以对待校正图像中的每个像素进行变换，使得该像素在变换后的图像中与参考图像相匹配。图像的每一个像素位置都会通过反向变换映射到目标图像中。这一过程主要通过反向映射和插值重采样来实现。

以二次多项式变换公式为例，在二维平面中，设参考图像中的点 (x, y) 映射到目标图像中的点 (u, v) ，二次多项式变换模型的形式如下：

$$u = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2$$

$$v = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2$$

其中的系数 $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ 在多项式模型构建时已经

求出。对于每个目标图像的像素点 (u, v) ，通过反向映射找到对应的原始像素点 (x, y) ，从而实现几何纠正：

$$(x, y) = f^{-1}(u, v)$$

反向映射可以避免空洞和重叠问题。然而，多项式模型通常无法直接求反函数，因此需要使用迭代方法或数值近似来求解 (x, y) 。此外，由于反向映射计算得到的 (x, y) 通常不落在整数像素位置，因此往往还需对其灰度值进行插值。

2.4 图像质量评价（PSNR 计算）

在校正完成后，需要对图像质量进行评估。峰值信噪比（PSNR）是衡量图像质量的重要指标，通过计算原始参考图像和纠正后图像之间的均方误差(MSE)，进一步得到 PSNR 值。

3 实验步骤

作者一共蟹壳两个脚本，先运行 homework3_picture_correction_create_point.m ，手动筛选控制点（方法在 3.3 中提及）后再运行 homework3_picture_correction_load_point.m 相应产生的中间文件可以在各个文件夹中找到，文件结构说明可以在附录中查找，压缩包中的文件结构应该是已经摆放好了。

3.1 预备工作

清理工作区、命令行窗口和图形窗口。

设置日志和数据存储文件夹，确保运行中产生的文件可以正确保存。

% 创建日志文件夹

```
logFolder = 'log';
if ~exist(logFolder, 'dir')
mkdir(logFolder);
end
```

% 创建控制点文件夹

```
pointFolder = 'data';
if ~exist(pointFolder, 'dir')
mkdir(pointFolder);
end
```

通过日期和时间自动生成实验编号和日志文件名，记录实验信息到日志中。

% 创建控制点文件夹

```
pointFolder = 'data';
if ~exist(pointFolder, 'dir')
mkdir(pointFolder);
end
```


武汉大学本科课程实验报告

```
% 获取当前日期和时间

currentDate = datetime("now", 'Format', 'yyyyMMdd'); % 格式: 20241119

currentTime = datetime("now", 'Format', 'HHmmss'); % 格式: 时分秒, 例如 153045

% 查找日志文件名中已有的次数

experimentCount = 1; % 初始次数为1

while exist(['log/create_log_' char(currentDate) '_'
num2str(experimentCount) '.txt'], 'file') == 2
    experimentCount = experimentCount + 1; % 如果文件已存在, 则增加次数
end

% 生成动态文件名

logFileName = ['log/create_log_' char(currentDate) '_'
num2str(experimentCount) '.txt'];

% 设置日志文件

diary(logFileName); % 启用日志记录
diary on; % 开始记录所有命令行输出

% 显示实验信息

currentDate1 = datetime("now", 'Format', 'yyyy年MM月dd日'); % 格式: 2024
年11月19日

currentTime1 = datetime("now", 'Format', 'HH时mm分ss秒'); % 格式: 时分秒,
例如 15时30分45秒

disp(['实验日期: ', char(currentDate1)]); % 显示实验日期
disp(['实验时间: ', char(currentTime1)]); % 显示实验时间
disp(['实验编号: ', num2str(experimentCount)]); % 显示实验编号
disp('-----');
```