

# 基于 ENVI 软件的遥感影像内插方法偏差改正

米慧超<sup>1</sup> 张小娣<sup>2</sup> 赖 锴<sup>1</sup>

(河南财经政法大学计算机与信息工程学院 郑州 450002)<sup>1</sup>

(西北工业大学计算机学院 西安 710072)<sup>2</sup>

**摘 要** ENVI是由遥感领域的科学家采用交互式数据语言 IDL(Interactive Data Language)开发的一套功能强大的遥感图像处理软件,其能够快速、便捷、准确地从遥感影像中提取所需的信息。为了对影像进行更好的分析和处理,ENVI提供了一套基础的影像内插方法用于对影像进行插值处理。然而,由于理论上的缺陷,其采用的插值方法存在一定的偏差,从而导致后续的影像处理工作中引入了人为的误差影响。因此基于 ENVI 软件所用的影像内插方法,从理论入手指出其不足之处并对其模型进行改正。通过实验证明,改正后的内插方法能够获得更为准确的插值影像,从而为下一步的处理提供更为准确的数据结果。

**关键词** ENVI 软件,影像内插,双线性插值,三次卷积插值

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.08.068

## Correction of Interpolation Methods in ENVI for Remotely Sensed Imagery

MI Hui-chao<sup>1</sup> ZHANG Xiao-di<sup>2</sup> LAI Kai<sup>1</sup>

(Institute of Computer and Information Engineering, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450002, China)<sup>1</sup>

(School of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)<sup>2</sup>

**Abstract** ENVI software was developed in IDL (Interactive Data Language) to process remotely sensed imagery, from which it can extract useful information quickly, conveniently and accurately. ENVI software provides a set of image interpolation methods to analyse and process imagery. However, due to the theoretic shortage, a bias exists in the interpolation image obtained by interpolation methods of ENVI software. Moreover, this bias will be transmitted to the subsequent image processing procedure. In this paper, the interpolation model was modified theoretically. And the experimental results indicate that the proposed modified interpolation algorithms outperform the original ones and therefore obtain more accurate results.

**Keywords** ENVI software, Image interpolation, Double bilinear interpolation, Cubic interpolation

### 1 引言

遥感是 20 世纪 60 年代发展起来的对地观测综合性技术,是指通过某种装置,不直接接触研究目标、区域或现象来获取相关数据,并对所获取的数据进行分析从而得到所需要信息的一种科学和技术<sup>[1]</sup>。经过数十年的发展,无论在遥感平台、传感器方面,还是遥感信息处理、遥感应用方面,都获得了飞速的发展,遥感已经成为当今最活跃的科技领域之一。

遥感图像的获取方式从早期的航空影像发展到后来的航天影像,图像获取方面的技术日益成熟,图像质量如空间分辨率和光谱分辨率得到很大提高。20 世纪 90 年代相继出现了一批高空间分辨率陆地卫星,如 IKONOS、QuickBird 等,其地面分辨率在全色波段达到 1~5m,有的甚至还高于 1m。越来越丰富的遥感影像数据在国土资源调查评价、土地利用动态监测、土地更新调查以及大中比例尺地形图测绘等方面已取

得显著成绩和越来越多的应用<sup>[2]</sup>。

而随着越来越多遥感数据的获取,对遥感影像处理的自动性和实时性以及处理手段的丰富性也提出了更高的要求,从而相应地出现了一批主要针对遥感影像进行处理的软件,如 ERDAS<sup>[3]</sup>、ENVI<sup>[4]</sup>等,它们在遥感影像处理领域往往已经有着数十年的成熟应用。其中,ENVI 软件更是以其强大的处理功能和可开发性得到了广大遥感科技工作者的肯定。

ENVI(The Environment for Visualizing Images)是美国 ITT Visual Information Solutions 公司的旗舰产品。ENVI 是由遥感领域的科学家采用 IDL 开发的一套功能强大的遥感图像处理软件;它是快速、便捷、准确地从地理空间影像中提取信息的首屈一指的软件解决方案,它提供先进的、人性化的使用工具来方便用户读取、准备、探测、分析和共享影像中的信息。今天,众多的影像分析师和科学家选择 ENVI 来从地理空间影像中提取信息。其已经广泛应用于科研、环境保护、

到稿日期:2014-03-17 返修日期:2014-04-10 本文受国家自然科学基金(71210003),河南省自然科学基金项目(132400410270),河南省科技攻关项目(122102210563),河南省科技攻关项目(132102210215)资助。

米慧超(1980-),女,硕士,讲师,主要研究方向为图像处理、数据挖掘、空间数据库,E-mail:mmhhcc@126.com;张小娣(1979-),女,博士,副教授,主要研究方向为信息系统与知识管理;赖 锴(1982-),男,硕士,讲师,主要研究方向为信息系统、图像处理。

气象、石油矿产勘探、农业、林业、医学、国防和安全、地球科学、公用设施管理、遥感工程、水利、海洋、测绘勘察和城市与区域规划等行业<sup>[5]</sup>。

ENVI 包含齐全的遥感影像处理功能:常规处理、几何校正、定标、多光谱分析、高光谱分析、雷达分析、地形地貌分析、矢量应用、神经网络分析、区域分析、GPS 联接、正射影像图生成、三维图像生成、丰富的可供二次开发调用的函数库、制图、数据输入/输出等功能组成了图像处理软件中非常全面的系统。遥感数据预处理是遥感数据应用中的一项基础准备工作,ENVI 则提供了遥感图像的几何校正、图像增强、影像镶嵌、裁剪等一系列的基本操作,其处理类型并不仅限于遥感影像,普通的自然影像和医学影像同样能够使用 ENVI 进行处理。

由于所获取的遥感影像空间分辨率的限制,以及如不同分辨率影像之间的配准和镶嵌,遥感影像几何校正等相关应用的要求,需要能够方便地对遥感影像完成影像内插的工作,如影像降采样和升采样等。基于此,ENVI 提供了一套基础的影像内插方法用于对影像进行插值处理<sup>[6]</sup>,包括最邻近插值、双线性插值、三次卷积插值方法。其中最邻近插值方法最为简单且直观,但得到的图像质量不高<sup>[7,8]</sup>;而后两种插值方法虽然计算量较大,但其插值图像质量较高,不会出现像素灰度值不连续的情况,因此不管是自然影像处理还是遥感影像处理,这两种方法都得到了更多的应用<sup>[9,10]</sup>。

然而,ENVI 软件中所提供的这两种插值方法,即双线性插值和三次卷积插值,其在完成影像插值操作的时候在理论方法上的考虑却存在着一定的缺陷,从而使得最终的插值结果与参考影像存在着位移方向上的偏差,而这与计算机对于数字的特定处理方式也是密切相关的。为了消除这种人为引入的误差以提供更好的影像插值结果以便于后续的相关影像处理操作,本文基于 ENVI 软件所用的影像内插方法,从理论入手指出其不足之处并对其模型进行改正,通过实验证明改正后的内插方法能够获得更为准确的插值影像,从而为下一步的处理提供更为准确的数据结果。

## 2 影像插值模型

### 2.1 影像插值模型

如前所述,这 3 种影像插值方法,即最邻近插值、双线性插值和三次卷积插值,不论是在遥感影像处理抑或自然影像处理等领域都被广泛使用。

最邻近插值的思想比较简单,对通过反向变换得到的一个浮点坐标进行简单的取整,得到一个整数型坐标,这个整数型坐标对应的像元灰度值就是目标像元的灰度值,最邻近插值方法简单且直观,但其得到的图像质量不高,相邻像元之间存在着较多的不连续性。

双线性插值则是有两个变量的插值函数的线性插值扩展,其核心思想是在两个方向分别进行一次线性插值,其所利用的主要是两个方向上各两个最邻近的像元的信息进行插值计算。双线性内插值法计算量较大,但缩放后图像质量高,不会出现像素值不连续的情况。

与双线性插值相比,三次卷积插值是一种更加复杂的插值方式,它能创造出比双线性插值更平滑的图像边缘。其考虑用浮点坐标周围的 16 个邻近像元进行计算,因此能够获得

更为精确的计算结果,但同时也拥有更大的计算量。

由于理论上的不足,在 ENVI 软件中双线性插值和三次卷积插值方法都存在着一定的偏差,这种偏差是由相同的原因所造成,因此本文主要以双线性插值为例进行说明并提出相应的偏差改正方法,而该改正方法同样适用于三次卷积插值方法。

### 2.2 双线性插值方法

以放大整数倍影像为例,对于一幅大小为  $m \times n$  的影像  $x$ ,将其放大  $S$  倍,则可以得到一幅大小为  $M \times N$  的影像  $y$ ,其中  $M=m \times S, N=n \times S$ 。将影像  $x$  中坐标为  $(i, j)$  的像元的灰度值用  $x_{i,j}$  来表示,而影像  $y$  中坐标为  $(p, q)$  的像元的灰度值则用  $y_{p,q}$  来表示,其中  $i, j, p, q$  都是整数。影像插值的目的就是需要对影像  $x$  进行内插操作以得到影像  $y$ 。

对于影像  $y$  上坐标为  $(p, q)$  的像元,其在影像  $x$  上的对应位置坐标应为  $(k, t)$ ,其中  $k=p/S, t=q/S$ 。虽然  $p, q$  为整数,但  $k$  和  $t$  则可能是浮点数,从而在影像  $x$  中不能找到与其相对应的像元。而在双线性插值方法中,主要利用两个方向上各两个最邻近的像元的信息进行插值计算,如图 1 所示。根据计算得到的  $k$  和  $t$  值,可以分别在水平和垂直方向找到两个与当前坐标  $(k, t)$  最为接近的点,按图所示将其表示为  $(i, j), (i, j+1), (i+1, j)$  和  $(i+1, j+1)$ 。其中,点  $(k, t)$  与点  $(i, j)$  的水平和垂直方向的距离分别用  $d_h$  和  $d_v$  来表示。

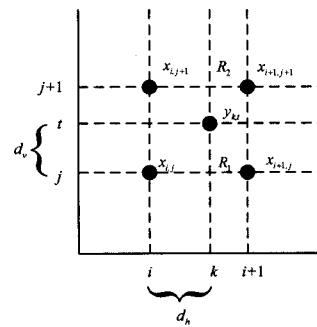


图 1 双线性差值示意图

双线性插值的核心思想是在两个方向分别进行一次线性插值。首先进行垂直方向的插值,找到与点  $(k, t)$  水平方向坐标相同,垂直方向最邻近的两个点,即图 1 所示的  $R_1$  和  $R_2$ ,其坐标分别表示为  $(k, j)$  和  $(k, j+1)$ 。则点  $(k, t)$  的值  $y_{k,t}$  可由  $R_1$  和  $R_2$  的值得到,如下:

$$y_{k,t} = (1-d_v)R_1 + d_vR_2 \quad (1)$$

其中

$$R_1 = (1-d_h)x_{i,j} + d_hx_{i+1,j} \quad (2)$$

$$R_2 = (1-d_h)x_{i,j+1} + d_hx_{i+1,j+1} \quad (3)$$

将式(2)、式(3)代入式(1)中,则有

$$y_{k,t} = (1-d_v)(1-d_h)x_{i,j} + d_vd_hx_{i+1,j+1} + d_v(1-d_h)x_{i,j+1} + (1-d_v)d_hx_{i+1,j} \quad (4)$$

双线性插值的结果与插值的顺序无关。首先进行水平方向的插值,然后进行垂直方向的插值,所得到的结果是一样的。通过如上的公式就可计算得到影像  $y$  上每个像元的灰度值,从而得到影像内插的结果。

## 3 影像内插偏差问题及改正

### 3.1 内插偏差问题

插值方法来源于离散函数逼近,其做法是根据有限个点

处的取值状况来估算出其他点处的近似值。引入到影像处理中,其目的是实现影像的升采样<sup>[11,12]</sup>。对于双线性插值而言,ENVI 软件所采取的方法与上述步骤完全一致,但其没有考虑到影像插值和离散点插值的不同之处。离散点插值中的点,通常认为是一种物理学上的象征,其没有形状,没有大小,也没有范围可言,因此传统的插值方法并没有考虑点本身的性质。而在影像插值中,作为点概念的像元而言,虽然是通过如坐标 $(i,j)$ 的方式进行表示,但其中的 $i$ 和 $j$ 表示的是影像中的行列号,并不是真正意义上的空间坐标值,其本身只能是整数而不能是浮点数。而像元本身可以抽象化为一个矩形的概念,虽然一个像元对应着一个特定的灰度值,但其本身具有一定的宽度和形状,其行列号并不能等同于该像元的坐标值,如图 2 所示。

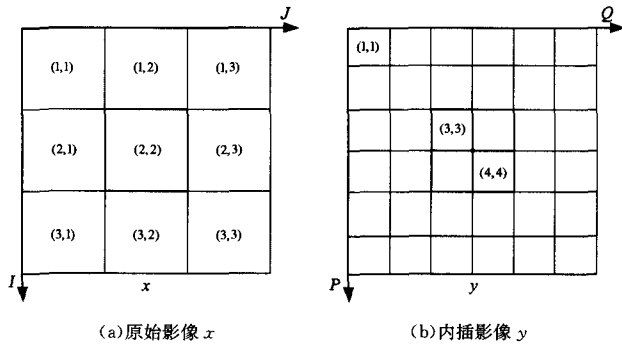


图 2 影像坐标对应示意图

以内插影像  $y$  中的像元  $(3,3)$  为例,如图 2(b) 中所示像元,其中内插尺度为 2,故其在原始影像  $x$  中的对应坐标按 1.2 节中的公式计算应为  $(1.5, 1.5)$ ,用于内插该点的 4 个像素的坐标依公式计算应为  $(1,1), (1,2), (2,1), (2,2)$ 。而对于与其拥有类似坐标的像元  $(4,4)$ ,根据计算公式可知其灰度值却与影像  $x$  中的  $(2,2)$  一致,但更合理的结果应该是该点是由  $(2,2), (2,3), (3,2)$  和  $(3,3)$  这 4 个像素点内插计算得到,因为它的位置其实与  $(3,3)$  具有相似性。

此外,计算机本身对数据的处理方式也会对结果造成影响。在数学意义下的格网坐标系中,数字的起始通常是从 1 开始,因此第一个像素通常是用  $(1,1)$  来表示,如图 2 中两个坐标系所示。而在计算机处理时,往往是从 0 开始,故图中的坐标  $(1,1)$  在计算机处理时则变成了  $(0,0)$ 。因此,如上用于距离的图 2(b) 中坐标为  $(3,3)$  的像元在处理时则变成了  $(2,2)$ ,其在原始影像上的对应的坐标则变成了  $(1,1)$ ,即图 2(a) 中的坐标为  $(2,2)$  的像元,最终其像元取值与图 2(a) 中的坐标  $(2,2)$  处的像元相同。

### 3.2 偏差改正

ENVI 软件中影像内插方法所存在的偏差问题主要是由于将其像元作为普通的空间离散点来考虑,而没有考虑到像元本身的物理属性,因此需要针对像元本身的特性构建对应的像元坐标系以更好地对像元进行表达,如图 3 所示。将影像左上角的点设为起始点,其坐标为  $(0,0)$ ,而像元的坐标则由像元中心点的坐标来表示,如图 3 所示,最左上角的像元的坐标为  $(0.5, 0.5)$ 。因此,对于行列号为  $(i,j)$  的像元来说,其坐标则表示为  $(i-0.5, j-0.5)$ 。对于内插影像  $y$  中行列号为  $(p,q)$  的像元,其坐标为  $(p-0.5, q-0.5)$ ,其在原始影像  $x$  中相对应的点坐标则为  $((p-0.5)/S, (q-0.5)/S)$ ,其中  $S=$

2。以图 3(b) 中行列号为  $(3,3)$  的像元为例,其坐标为  $(2.5, 2.5)$ ,如图中所标注的点,而其在原始影像  $x$  中对应的点坐标则为  $(1.25, 1.25)$ ,如图 3(a) 中蓝色点所示。因此,在原始影像  $x$  中用于内插该点灰度值的像元所对应的坐标应该是  $(0.5, 0.5), (0.5, 1.5), (1.5, 0.5)$  和  $(1.5, 1.5)$ ,如图 3(a) 所示。而这 4 个点对应的行列号则为  $(1,1), (1,2), (2,1)$  和  $(2,2)$ 。类似地,对于图 3(b) 中的坐标点  $(3.5, 3.5)$  也能够得出类似的结论,而不会出现如前所述的偏差。

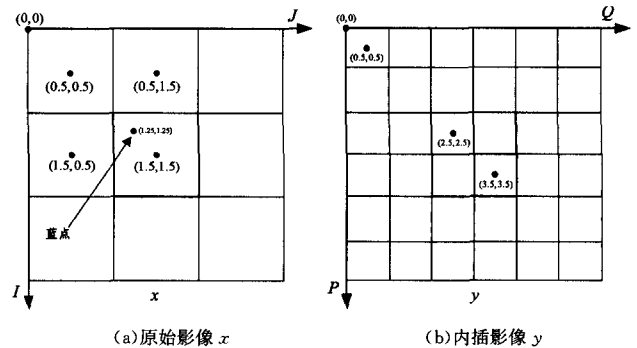


图 3 像元坐标系

即使在计算机处理时,这种坐标表示方式也能够克服起始点不同所带来的差异。因为像元坐标并不是直接等同于像元的行列号值,故在计算机处理时只需修改其对应方式即可。如在计算机处理下的行列号为  $(p,q)$  的像元,由于是从 0 开始计算,因此其坐标为  $(p+0.5, q+0.5)$ ,以图 3(b) 中的行列号为  $(3,3)$  的像元为例,在计算机处理时其行列号变成了  $(2,2)$ ,但其坐标值仍然是  $(2.5, 2.5)$ ,从而使得像元坐标值与其行列号的起点无关,进而消除了计算机处理方式不同所带来的误差。

以图 4 所示坐标系为例,总体来说,对于内插影像  $y$  中行列号为  $(p,q)$  的像元而言,令其灰度值为  $y_{p,q}$ ,坐标为  $(p-0.5, q-0.5)$ ,其在原始影像  $x$  中对应的点坐标为  $((p-0.5)/S, (q-0.5)/S)$ ,令  $k=(p-0.5)/S, t=(q-0.5)/S$ 。  $i, j$  为原始影像  $x$  中像元的行列号,其像元的灰度值为  $x_{i,j}$ ,对应的坐标为  $(i-0.5, j-0.5)$ 。根据 1.2 节的推导方式,同样有

$$y_{k,t} = (1-d_v)(1-d_h)x_{i,j} + d_v d_h x_{i+1,j+1} + d_v(1-d_h)x_{i,j+1} + (1-d_v)d_h x_{i+1,j} \quad (5)$$

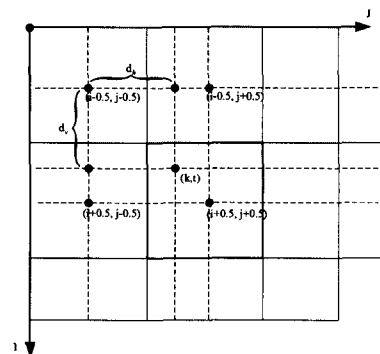


图 4 像元坐标系下内插示意图

虽然式(5)与式(4)具有完全一样的形式,但其中坐标的计算方式有着根本性的区别,而这小小的区别却会造成结果出现极大的偏差,表现在影像上则是内插影像与参考影像之间存在着明显的整像素的偏差,而这由于坐标计算方式所带来的偏差同样也反映在对影像的定量评价中。

## 4 实验结果与分析

### 4.1 实验数据

为证明 ENVI 软件中影像内插方法所存在的偏差问题并验证所提出的偏差改正方法的有效性,分别选取两幅在数字图像处理领域广泛使用的实验影像:Lena 影像和 Peppers 影像,以及一幅 ENVI 自带的遥感全色影像 qb\_pan。这 3 幅影像的大小分别为  $492 \times 492$ ,  $492 \times 492$ ,  $400 \times 400$ ,如图 5 所示。

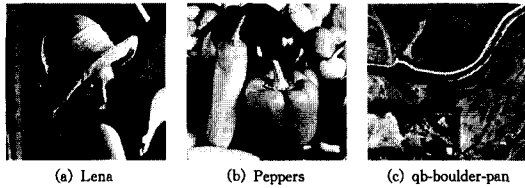


图 5 实验影像

为了测试本文所提出的偏差改正方法对 ENVI 软件中的内插方法的修正作用,将 3 幅实验影像先进行降采样,再将降采样的影像分别使用 ENVI 软件中的两种内插方法:双线性插值(Bilinear\_ENVI)和三次卷积插值(Cubic\_ENVI),以及使用本文偏差改正方法修正后的双线性插值(Bilinear\_Modify)和三次卷积插值方法(Cubic\_Modify)进行内插处理,然后将插值结果与原始影像进行对比并计算其定量精度。实验所用的降采样尺度为 4,用于评价内插结果的指标为均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE),其计算公式如下:

$$rmse = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\alpha_i - \theta_i)^2 \quad (6)$$

其中,  $k$  为整幅影像中包含的像元个数,  $\alpha_i$  是参考影像上第  $i$  个像元的灰度值,  $\theta_i$  则为内插影像上第  $i$  个像元的灰度值。RMSE 越小则说明内插影像越接近参考影像。

### 4.2 实验与结果

表 1 是 ENVI 软件中的两种插值方法以及其相应的偏差改正后插值方法的定量精度评价结果。可以看出,经过偏差改正后的两种内插方法较未做偏差改正的方法在精度上有了较大提高,以 Lena 影像为例,偏差改正后的双线性插值方法将 RMSE 的值由 16.737 减少到 12.005,降幅超过 25%。对于遥感影像 qb\_pan 而言,偏差改正后的三次卷积插值方法将 RMSE 的值降低了 4.397。此外,从内插模型来看,三次卷积插值方法利用到了更多的邻域信息,理论上来说应该取得较双线性插值更好的内插结果。然而,由表 1 可知,使用 ENVI 软件中的原始的两种内插方法时,三次卷积插值的精度反而低于双线性插值,而这正是本文所提到的坐标偏差的存在所造成的结果。在对偏差进行改正之后可以看到,三次卷积插值方法较双线性插值确实能够取得更高的精度,无论是两幅数字图像还是遥感影像,偏差改正后的三次卷积插值方法都取得了最好的结果,而改正后的两种方法相较于改正前的方法则在精度上有了较高的提升。

表 1 不同插值方法精度评价

	ENVI 内插方法		改正内插方法	
	Bilinear_ENVI	Cubic_ENVI	Bilinear_Modify	Cubic_Modify
Lena	16.737	16.882	12.005	10.856
Peppers	18.238	18.388	12.026	10.762
Qb_pan	11.523	11.624	8.157	7.227

为了进一步证明 ENVI 软件中内插方法结果会造成插值结果存在整像素的平移,以 Lena 影像为例进行实验。由于降采样尺度为 4,从偏差改正计算可知其主要是由于未考虑低分辨率影像中 0.5 个像素的偏移,因此从理论上来说,ENVI 软件中的内插方法所得到的内插结果较参考影像在行列方向应大致分别存在  $4 \times 0.5 = 2$  个整像素的偏移。因此,我们将 ENVI 软件中插值方法所得到的结果分别在行列方向偏移 2 个像素。由于 Lena 影像大小为  $492 \times 492$ ,则偏移影像与参考影像重叠区域的大小为  $490 \times 490$ ,对该重叠区域进行精度统计,其结果如表 2 所列。可以看到,经偏移后的结果精度评价较原始结果有了较大的提高,而三次卷积方法也获得了比双线性插值更好的评价结果。虽然其结果较偏差改正后方法仍有一定差距,但是已经能够证明 ENVI 软件中内插方法确实会造成插值影像出现一定的偏移,从而造成结果不准确,而本文所使用的偏差改正方法则确实能够对其进行较好的改正以获得更为准确的插值影像。

表 2 偏移 2 像素后插值结果精度评价

	偏移后 ENVI 内插结果	
	Bilinear_ENVI	Cubic_ENVI
Lena	12.659	12.573

**结束语** ENVI 软件能够快速、便捷、准确地从遥感影像中提取所需的信息,其中的影像内插算法更是众多影像处理方法的基础和必需,因此,由内插方法所造成的结果不确定性会传递到之后的影像处理过程中,从而在最终的影像处理结果中引入更多的误差。

为了改正其内插方法所存在的误差,本文从其理论模型入手,阐释了该误差所存在的原因,并对其进行偏差改正以获得更准确的内插结果,从而为后续影像处理工作提供更准确的数据输入。实验证明,ENVI 软件中内插方法所得到的结果相对于参考影像存在着与重采样尺度相关的偏差,而本文所提出的偏差改正方法则能够很好地对其进行消除以得到更为精确的内插影像。因此当前 ENVI 软件亟需对其内插方法进行修正。

## 参考文献

- [1] Warren M A, Taylor B H, Grant M G, et al. Data processing of remotely sensed airborne hyperspectral data using the Airborne Processing Library (APL): Geocorrection algorithm descriptions and spatial accuracy assessment[J]. Computers & Geosciences, 2014, 64: 24-34
- [2] Chen Q, Wang S, Wang B, et al. Automatic Registration Method for Fusion of ZY-1-02C Satellite Images[J]. Remote Sensing, 2013, 6(1): 157-179
- [3] Ayana E K, Philpot W D, Melesse A M, et al. Bathymetry, Lake Area and Volume Mapping, A Remote-Sensing Perspective[M]// Nile River Basin. Springer International Publishing, 2014: 253-267
- [4] Devaraj C, Shah C A. Automated geometric correction of multi-spectral images from High Resolution CCD Camera (HRCC) on-board CBERS-2 and CBERS-2B[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 89: 13-24
- [5] Burns P, Nolin A. Using atmospherically-corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Pe-

ru from 1987 to 2010 [J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 140:165-178

[6] Lillesand T M, Kiefer R W, Chipman J W. Remote sensing and image interpretation [M]. John Wiley & Sons Ltd, 2004

[7] 徐佳, 关泽群, 何秀凤, 等. InSAR 大气误差改正中的空间插值研究[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(4):911-915

[8] 葛咏, 梁怡, 马江洪, 等. 遥感影像配准误差传递模型及模拟分析[J]. 遥感学报, 2006, 10(3):299-305

[9] 潘励, 何潇. 环境减灾卫星 CCD 影像精纠正方法研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2013, 38(6):002

[10] 金绍华, 翟京生, 刘雁春, 等. 海底入射角对多波束反向散射强度的影响及其改正[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2011, 36(9):1081-1084

[11] 杨永川, 杨轲, 王志浩, 等. 空间插值法在热环境流动观测中的应用[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2012, 43(9):37-42

[12] Chen Q, Wang S, Wang B, et al. Automatic Registration Method for Fusion of ZY-1-02C Satellite Images[J]. Remote Sensing, 2013, 6(1):157-179

[13] 郑磊, 杨德红, 孙德亮. GIS 技术在遥感数据管理中的应用[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2011, 25(3):88-91

(上接第 300 页)

## 4.2 PIE 数据库

PIE 人脸数据库包含 68 类不同人脸的 41368 张人脸数据图像, 每类包含不同的表情、姿态和光照条件下的人脸数据, 我们选取 20 类, 每类随机选取 42 张图像组成我们的实验数据。在每类中分别选取 5、10、15 张图像组成训练集, 其余的作为测试集。不同训练样本数下的几种算法的最佳识别率和相应的低维子空间维数见表 2, 参与实验的 PIE 人脸图像主要在光照条件和姿态上存在变化, 几种算法能够取得较好的识别效果。随着参与训练样本数的增加, 算法的识别率表现得更好, 同时, 本文算法较其他几种算法有更好的识别效果。

表 2 几种算法在不同训练样本数下的识别率(%)

训练样本数(l)	PCA(维数)	LPP(维数)	NPE(维数)	本文算法(维数)
l=5	63.24(65)	91.89(65)	61.76(50)	63.11(65)
l=10	83.44(60)	93.44(75)	89.22(75)	98.13(60)
l=15	99.82(45)	95.19(75)	96.67(75)	100(25)

选择一个合适的核参数  $\lambda_k$  对构建数据的空间约束矩阵具有重要的作用。图 5 是  $\lambda_k$  取不同数值时的识别率。理论上, 一个较大的  $\lambda_k$  对数据的空间约束更加有效, 但是在利用空间约束矩阵和低秩表示点积之后,  $\lambda_k$  值太大会减弱数据低秩特性在算法中发挥的作用,  $\lambda_k$  值太小则会减弱空间约束项在算法中的作用。图 5 表明, 对于  $\lambda_k$ , 算法具有较宽的选择范围, 即证明了算法对参数  $\lambda_k$  的选择不敏感。

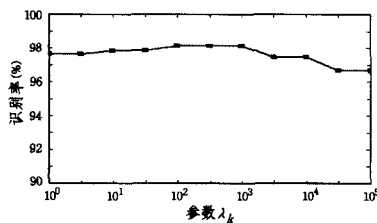


图 5 本文算法不同  $\lambda_k$  参数下的识别率

**结束语** 在谱图嵌入理论框架下, 本文构建了一种具有空间信息约束项的低秩图用于人脸识别, 通过将数据空间信息项引入到低秩表示模型中, 构建具有很好的数据全局结构表达能力和较强的分类鉴别能力的低秩表示图用于人脸识别, 达到提高人脸识别效果的目的。在两个标准的人脸数据库上对本文提出的算法进行测试, 并同其他几种经典的人脸识别算法进行比较, 实验结果显示, 本文算法能够取得更好的识别结果, 对噪声数据表现得更加明显, 算法中参数选择具有较大的范围, 算法具有很好的鲁棒性。

## 参考文献

[1] Belkin M, Niyogi P. Laplacian eigenmaps for dimensionality reduction and data representation [J]. Neural Computation, 2003,

15(6):1373-1396

[2] Niyogi X. Locality preserving projections[C]//Neural Information Processing Systems. 2004, 16:153

[3] He X, Cai D, Yan S, et al. Neighborhood preserving embedding [C]//Tenth IEEE International Conference on Computer Vision, 2005 (ICCV 2005). IEEE, 2005, 2:1208-1213

[4] Wright J, Yang A Y, Ganesh A, et al. Robust face recognition via sparse representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(2):210-227

[5] 杨荣根, 任明武, 杨静宇. 基于稀疏表示的人脸识别算法[J]. 计算机科学, 2010, 37(9):267-278

[6] Candès E J, Li X, Ma Y, et al. Robust principal component analysis? [J]. Journal of the ACM (JACM), 2011, 58(3):11

[7] Liu G, Lin Z, Yu Y. Robust subspace segmentation by low-rank representation[C]//Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning (ICML-10). 2010:663-670

[8] Zhuang L, Gao H, Lin Z, et al. Non-negative low rank and sparse graph for semi-supervised learning[C]//2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2012:2328-2335

[9] Zhuang L, Gao H, et al. Semi-supervised classification via low rank graph[C]//2011 Sixth International Conference on Image and Graphics (ICIG). IEEE, 2011:511-516

[10] Yang S, Wang X, Wang M, et al. Semi-supervised low-rank representation graph for pattern recognition[J]. IET Image Processing, 2013, 7(2):131-136

[11] Zheng Y, Zhang X, Yang S, et al. Low-rank representation with local constraint for graph construction [J]. Neurocomputing, 2013, 122:398-405

[12] Zhang N, Yang J. Low-rank representation based discriminative projection for robust feature extraction [J]. Neurocomputing, 2013, 111:13-20

[13] Arpit D, Srivastava G, Fu Y. Locality-constrained Low Rank Coding for face recognition[C]//2012 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR). IEEE, 2012:1687-1690

[14] Xu H, Caramanis C, Sanghavi S. Robust PCA via outlier pursuit [J]. Systems Advances in Neural Information Processing Systems, 2010, 23:2496-2504

[15] Liu G, Lin Z, Yan S, et al. Robust recovery of subspace structures by low-rank representation[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 35(1):172-184

[16] Lin Z, Liu R, Su Z. Linearized alternating direction method with adaptive penalty for low-rank representation[C]//Advances in Neural Information Processing Systems 24 (NIPS 2011). 2011

[17] Cai J F, Candès E J, Shen Z. A singular value thresholding algorithm for matrix completion[J]. SIAM Journal on Optimization, 2010, 20(4):1956-198