

文章编号: 1007-4619 (2000) 01-0036-05

若干平滑和插值方法对图像空间分辨力估算的影响

熊 桢, 童庆禧, 郑兰芬

(中国科学院 遥感应用研究所遥感信息科学开放研究实验室, 北京 100101)

摘要: 图像空间分辨力是图像质量评估中的一个重要指标, 而对图像空间分辨力的估算通常采用调制传递函数(MTF)解算。由于图像噪声的存在和采样数据的离散性, 平滑和插值是必不可少的两个环节, 因此, 平滑和插值算法的好坏直接影响最后的评估结果。采用了两种最常用的平滑算法和两种插值算法, 并按8种实验方案对两幅典型的图像进行了实验对比研究, 获得了这两种算法对图像空间分辨力评估的影响机理, 从而遴选出了较好的平滑和插值算法。

关键词: 平滑; 插值; 图像空间分辨力

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

1 引言

遥感技术迅速发展的今天, 随着一颗又一颗遥感卫星发射升空, 信息获取的来源越来越多, 每时每刻分布在地球各个地方的卫星地面站都要接收海量的数据, 面对这浩如烟海的数据, 怎样从中挑选出有用的数据是一项繁重而有意义的工作, 数字图像质量的评估就是要对众多的数字图像进行质量评价, 把图像按质量分类, 从而便于利用, 图像空间分辨力是图像质量评价最常用的一个指标, 它表示某一遥感成像系统对微小细节反差表达的能力, 由于调制传递函数(MTF)的“叠加”特性, 即某一遥感成像系统的 MTF 可以由成像过程中各介质(如大气、传感器、平台抖动、影像处理等)的 MTF 相乘得到, 它能全面客观地表示图像的质量, 因此, 多用求调制传递函数(MTF)的方法解算图像的空间分辨力。而在这种方法中, 平滑和插值是两个必不可少的环节, 它们直接影响最后对图像空间分辨力的评估结果, 因此, 讨论平滑和插值方法对图像空间分辨力的影响具有十分重要的意义。

2 图像空间分辨力估算的方法与步骤

图像空间分辨力的估算通常采用调制传递函数

计算, 这一过程一般分为以下步骤^[1]:

(1) 扫描图像边缘, 获得一组数据。选取图像中一条灰度变化明显的边, 沿着垂直于边缘的方向在边缘两侧各扫描若干像元, 为了保持数据的完整性与有效性, 一般扫描宽度不小于10个像元。沿着边缘一行一行扫描过去, 然后取各行的均值作为最后的扫描结果。空间分辨力的估算一般只需要一个由暗到亮的单调数列, 因此必须去掉扫描数据中多余的数据, 并把数据按由小到大的顺序排列。

(2) 平滑边缘数据。为了有效的滤掉图像的噪声, 一般要采用平滑算法。鉴于噪声的复杂多样性, 各扫描行取平均, 可以消去或减弱一部分平行于边缘的随机噪声; 但不能消去垂直于边缘的随机噪声, 如平行于边缘的条带噪声等。对平均后的扫描数据进行平滑可以有效的抑制这种噪声影响。本文采用最小二乘平滑和加权平均两种平滑方法, 其中加权平均平滑的权系数为等比数列, 其等比系数分别为2和20。

(3) 对边缘数据进行插值, 得一组加密后的数列。此处采用两种插值方法: 三次样条函数插值方法^[2]和有约束的三次样条插值方法。有约束的三次样条插值算法是在原插值数据的范围内进行三次样条插值, 计算出的插值数不能超出原插值数, 否则对该数值进行调整, 以符合插值数不超过原数据范围的原则。

收稿日期: 1998-12-17; 修订日期: 1999-09-20

基金项目: 国家自然科学基金重大项目“遥感信息机理研究”项目资助(49493400)。

作者简介: 熊桢(1962-), 湖北武汉人, 现在中国科学院遥感应用研究所攻读博士学位, 主要从事遥感图像处理、模式识别和遥感图像分类技术研究。

(4) 求线扩展函数 $F(x)$ 。对插值后的边缘数据各点求一阶导数,即得一离散的线扩展函数 $F(x)$ 。

(5) 求调制传递函数 MTF。

对离散线扩展函数进行傅氏变换^[3-5]:

$$X(L) = \sum_{k=0}^{N-1} F(x_k) e^{ik\pi l/N} \quad (1)$$

$X(L)$ 为复数形式, $X(L)$ 的模除以 $X(0)$ 即得调制传递函数 $T(L)$ 。

$$T(L) = \frac{|X(L)|}{\sum_{k=0}^{N-1} F(x_k)} \quad (2)$$

实验中所得到的 MTF 图像在高频部分出现震荡,是由于图像边缘数据不均匀,导致线扩展函数出现波动造成的,这种情况属正常范围。

(6) 求图像的空间分辨率。一般取调制传递函数值为 0.05 (此时图像信息损失率为 5%) 时 所对应的分辨率作为图像的空间分辨率。

3 对不同的平滑方法和插值方法进行实验验证

本次实验采用了两幅典型图像,图 1(a)是纯实验性的黑白图像(block.raw),其中黑色的灰度值为 0,白色的灰度值为 255;图 1(b)是很普通的 TM 图像(test⁰⁰.raw)。图 1(a)代表特殊情况,(b)代表一般情况。

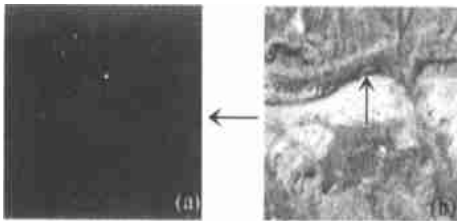


图 1 实验图像

Fig. 1 The experiment image

(a) block.raw; (b) test⁰⁰.raw; 箭头所指为采样边缘

(1) 对图 1 进行的实验方案如下。

方案 1: 采用最小二乘平滑,样条插值求解图像的空间分辨率;

方案 2: 采用最小二乘平滑,有限样条插值求解图像的空间分辨率;

方案 3: 采用加权平均平滑(权系数为等比数列,等比值为 2),样条插值求解图像的空间分辨率;

方案 4: 采用加权平均平滑(权系数为等比数列,等比值为 2),有限样条插值求解图像的空间分辨率;

方案 5: 采用加权平均平滑(权系数为等比数列,等比值为 20),样条插值求解图像的空间分辨率;

方案 6: 采用加权平均平滑(权系数为等比数列,等比值为 20),有限样条插值求解图像的空间分辨率;

方案 7: 对扫描的原始数据不平滑,样条插值求解图像的空间分辨率;

方案 8: 对扫描的原始数据不平滑,有限样条插值求解图像的空间分辨率。

(2) 获取图像 block.raw 和 test⁰⁰.raw 的边缘后,对边缘进行平滑和插值后的结果如图 2。

(3) 采用不同方案进行实验得到的线扩展函数 $F(x)$ 如图 3。

(4) 采用不同方案进行实验得到的调制传递函数(MTF)如图 4。

(5) 对图像 block.raw 和 test⁰⁰.raw 采用不同方案的实验结果(表 1)。

表 1 实验结果

Table 1 The Experiment results

实验方案	Block.raw 的 分辨率/像元	Test ⁰⁰ .raw 的 分辨率/像元
1 最小二乘平滑,样条插值	3.31	3.91
2 最小二乘平滑,有限样条插值	3.18	3.91
3 加权平均平滑 2,样条插值	3.31	5.98
4 加权平均平滑 2,有限样条插值	3.33	5.98
5 加权平均平滑 20,样条插值	2.08	4.58
6 加权平均平滑 20,有限样条插值	2.11	4.58
7 无平滑,样条插值	2.03	8.54
8 无平滑,有限样条插值	1.61	8.54

4 数据分析

从图 2 的(a)~(h)可以看出,不同的平滑方法对原始数据的逼近程度是不一样的。采用最小二乘平滑(如图 2 的(c), (d))比加权平均平滑(等比系数为 2)(如图 2 的(e), (f))效果好一些,但最小二乘平滑会出现平滑值超出原数据的情况,如图 2 的(c)。当等比系数变为 20 后,加权平均平滑(如图 2 的(g), (h))逼近原始数据的程度比最小二乘平滑高。这说明,采用适当的等比系数,加权平均平滑的效果要比最小二乘平滑好。

从图 2 的(i)~(l)可以看出,采用两种插值方法

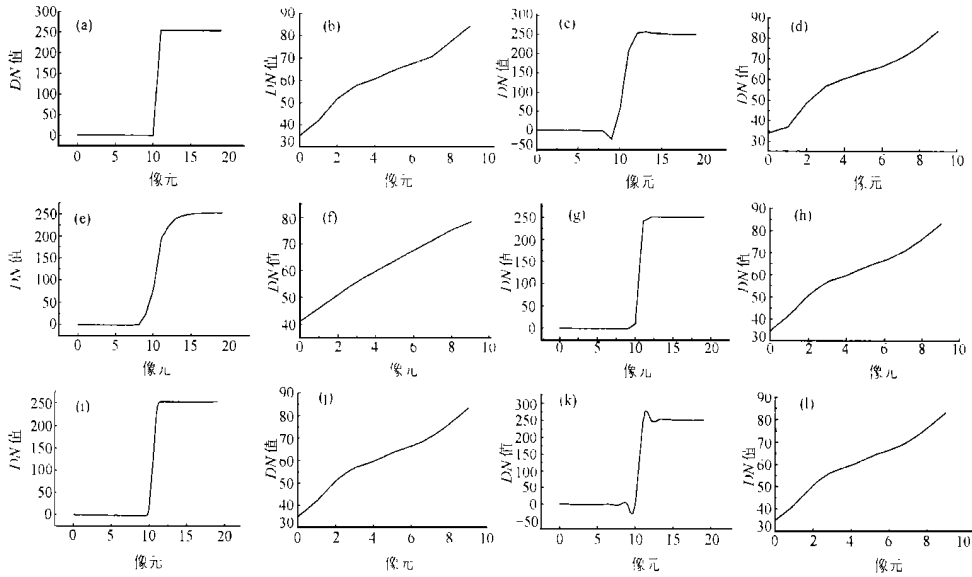


图2 图像边缘经平滑和插值后的结果

Fig. 2 The results of the image edges by smoothness and interpolation

(a) block.raw 的边缘线; (b) test⁰⁰.raw 的边缘线; (c) block.raw 的边缘线经最小二乘平滑后的结果; (d) test⁰⁰.raw 的边缘线经最小二乘平滑后的结果; (e) block.raw 的边缘线经加权 2 平均平滑后的结果; (f) test⁰⁰.raw 的边缘线经加权 2 平均平滑后的结果; (g) block.raw 的边缘线经加权 20 平均平滑后的结果; (h) test⁰⁰.raw 的边缘线经加权 20 平均平滑后的结果; (i) block.raw 的边缘线经加权 20 平均平滑, 有限样条插值后的结果; (j) test⁰⁰.raw 的边缘线经加权 20 平均平滑, 有限样条插值后的结果; (k) block.raw 的边缘线经加权 20 平均平滑, 样条插值后的结果; (l) test⁰⁰.raw 的边缘线经加权 20 平均平滑, 样条插值后的结果

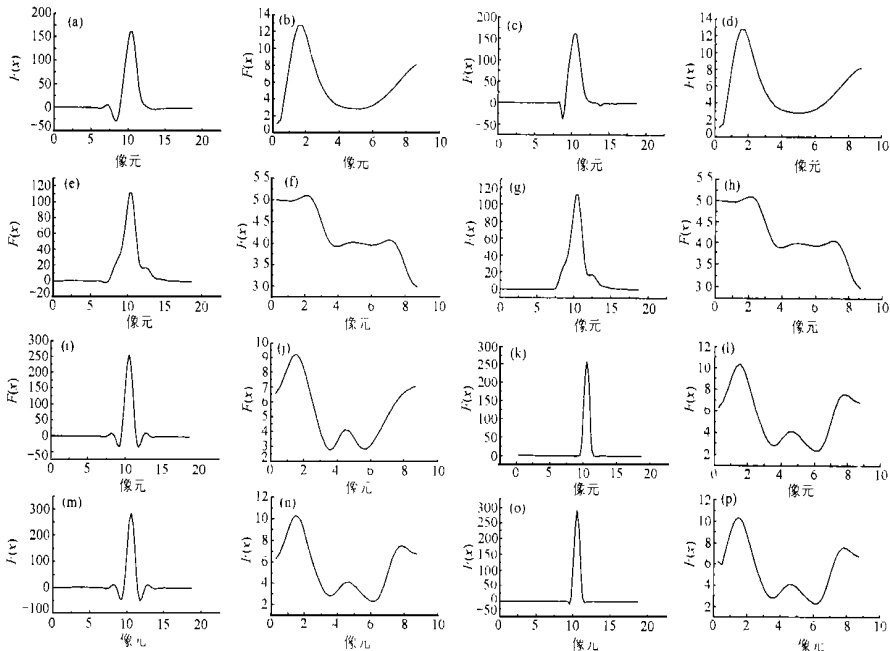


图3 各种方案实验获得的线扩展函数

Fig. 3 The $F(x)$ of various experiments

(a) block.raw 的边缘线按方案 1; (b) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 1; (c) block.raw 的边缘线按方案 2; (d) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 2; (e) block.raw 的边缘线按方案 3; (f) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 3; (g) block.raw 的边缘线按方案 4; (h) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 4; (i) block.raw 的边缘线按方案 5; (j) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 5; (k) block.raw 的边缘线按方案 6; (l) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 6; (m) block.raw 的边缘线按方案 7; (n) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 7; (o) block.raw 的边缘线按方案 8; (p) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 8

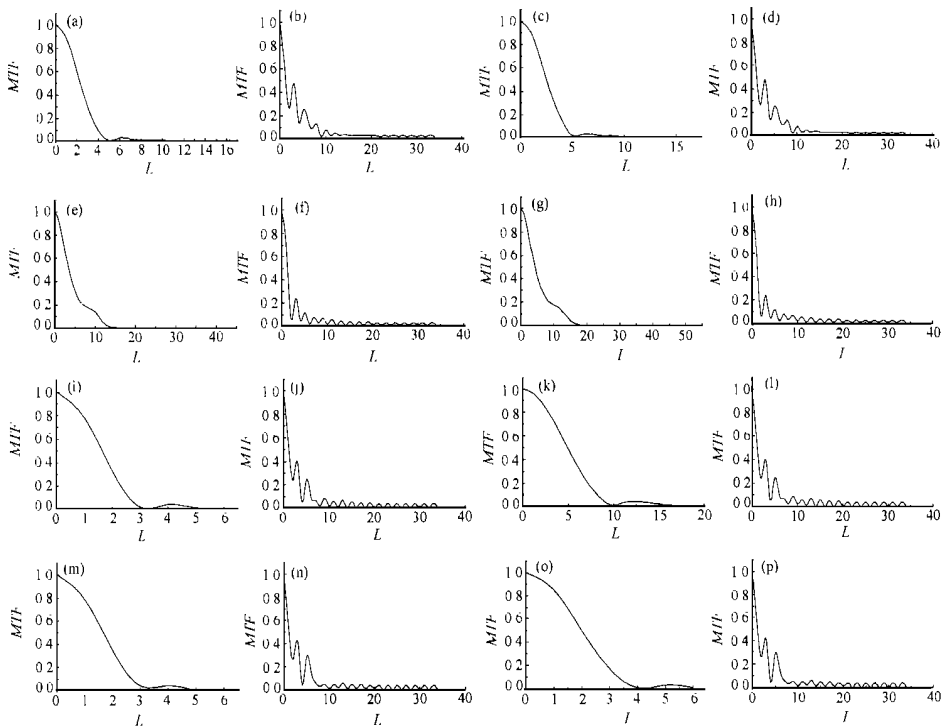


图 4 各种方案实验获得的调制传递函数

Fig. 4 The MTF of various experiments

(a) block.raw 的边缘线按方案 1; (b) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 1; (c) block.raw 的边缘线按方案 2; (d) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 2; (e) block.raw 的边缘线按方案 3; (f) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 3; (g) block.raw 的边缘线按方案 4; (h) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 4; (i) block.raw 的边缘线按方案 5; (j) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 5; (k) block.raw 的边缘线按方案 6; (l) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 6; (m) block.raw 的边缘线按方案 7; (n) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 7; (o) block.raw 的边缘线按方案 8; (p) test⁰⁰.raw 的边缘线按方案 8

最后的插值结果逼近原数据的能力是不一样的。三次样条插值是经常使用的方法,但从图 2 的(k)可以清楚地看出,这种插值方法并不能很好地忠实于原始数据,其插值结果具有明显的波动性,如图 2 的(k)。对比原数据(如图 2 的(g), (h)),有限样条插值(如图 2 的(i), (j))后的结果要比样条插值(如图 2 的(k), (l))后的结果好。

从理论上讲,最小二乘平滑是平滑误差最小的方法,但其实际效果并不太理想,如图 2 的(c)。这种方法最大的弊端在于它把一条单调上升的边变得不再单调,从而影响了图像空间分辨率的评估。同理,样条插值的弊端也在于此,如图 2 的(k)。

从实验的最后结果(表 1)分析,平滑方法相同,尽管采用不同的插值方法,最后的结果乃相近;平滑方法不同,尽管采用相同的插值方法,最后的结果相差很大。这说明平滑方法在此种图像空间分辨率评估方法中,相对于插值方法起决定作用。

由于边缘采样时,已经考虑了图像噪声的因素,

所以,实验使用的边缘数据已经是经过若干条边缘扫描数据平均后的结果,这样图像噪声实际上已经得到了一定的抑制。因此,未经平滑处理评估出的图像空间分辨率是有一定的参考价值的。从表 1 可以看出,方案 5 和方案 6 的实验结果相对方案 1 和方案 2 更接近方案 7 和方案 8 的结果。这一结果与前面关于平滑和插值方法的讨论是一致的。

综上所述,在利用调制传递函数评估图像的空间分辨率时,采用加权平均平滑(平滑系数采用合适的等比数列)和有限样条插值,可以获得较好的结果。

5 结 论

(1) 由于图像噪声的原因,在利用调制传递函数评估图像的空间分辨率时,平滑算法是必不可少的,但不同的平滑算法对评估结果影响很大。最小二乘平滑会使单调边变得不单调,而采用合适系数

的加权平均平滑不会引起这种后果。

(2) 由于采样数据的有限性和离散性,插值算法也是必须的。三次样条插值虽然使插值后的曲线具有二阶连续导数,但它也使单调边出现不必要的起伏,而有限样条插值尽管不能使插值后的曲线具有二阶连续导数,但它不会影响边的单调性。

(3) 利用调制传递函数求解图像的空间分辨力,采用具有合适系数的加权平均平滑方法和有限样条插值方法,可以获得较好的结果。

参 考 文 献 (References)

[1] Liu Xinghua. Remote Sensing Information Interpretation and Applications [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1993, 178—183. [刘行

华. 遥感信息地物理解模型及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993, 178—183.]

[2] Xu Chuiwei. Algorithm Introduction. Beijing: Higher Education Press, 1985, 76—83. [徐萃薇. 计算方法引论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985, 76—83.]

[3] Mathematics Section. Tongji University. Higher Mathematics [M]. Beijing: Higher Education Press, 1996, 314—317. [同济大学数学教研室. 高等数学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996, 314—317.]

[4] Guo Defang. Remote Sensing Processing and Pattern Recognition [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 1987, 127—145. [郭德方. 遥感图像的计算机处理和模式识别[M]. 北京: 电子工业出版社, 1987, 127—145.]

[5] Robert A. Schowengerdt. Remote Sensing Models and Methods for Image Processing [M]. New York: Academic Press, Second Edition, 1997, 250—253.

The Effect of Several Smoothness and Interpolation Algorithm on Image Spatial Resolution Evaluation

XIONG Zhen, TONG Qing-xi, ZHENG Lan-fen

(Laboratory of Remote Sensing Information Science, Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Spatial resolution is an important index in image quality evaluation. Modulation Transfer Function (MTF) is usually used to estimate the spatial resolution for an image. Because of the image noise and the dispersion character of the sample data, smoothness and interpolation are two necessary links. Thus, the algorithm of smoothness and interpolation will directly affect the result of evaluation. Two algorithms of smoothness and two algorithms of interpolation have been applied to the experiments of evaluating two typical imagery according to eight experiment schemes. The influence mechanism of the algorithms on image spatial resolution evaluation has been achieved, and a better algorithm of smoothness and a better algorithm of interpolation have been selected.

Key words: smoothness; interpolation; image spatial resolution