

基于 DN 值趋势面的成像光谱数据 低信噪比波段修复研究

杨敏华^{1,2)} 赵永超³⁾ 刘团结³⁾ 张兵³⁾ 赵春江²⁾ 童庆禧³⁾

¹⁾(吉首大学资源与环境空间信息技术研究所,湖南张家界 427000)

²⁾(北京农业信息技术研究中心,北京 100089) ³⁾(中国科学院遥感应用研究所高光谱室,北京 100101)

摘 要 针对利用成像光谱数据进行反射光谱重建时,因连续多波段低信噪比图象的噪声造成的影响问题,提出了一种基于低信噪比波段 DN 值趋势面的图象修复方法.该方法在准确估计修复图象 DN 值均值趋势面的基础上,通过引入能量比约束条件,将高度相关的邻近波段方差信号引入修复图象,从而不仅较好地消除了噪声对反射光谱重建的影响,而且改善了低信噪比波段参与合成的图象质量.实验结果表明,该方法以一种新的低通滤波思想实现了修复病态波段、恢复光谱特征这一应用目标.

关键词 计算机图象处理(520·6040) 成像光谱数据 DN 值趋势面 信噪比 修复方法

中图分类号: TP751.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)11-1299-05

Study on a Method to Repair Low-ratio S/N Band of Imaging Spectrometer Data Based on the Trend-face of DN Value

YANG Min-hua^{1,2)}, ZHAO Yong-chao³⁾, LIU Tuan-jie³⁾,
ZHANG Bing³⁾, ZHAO Chun-jiang²⁾, TONG Qing-xi³⁾

¹⁾(Zhang Jiajie Campus of Jishou University, Hunan Zhangjiajie 4270001)

²⁾(Beijing Agriculture Information Technology Research Center, Beijing 100089)

³⁾(Institute of Remote Sensing Application, China Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract With a consideration of the influence of consecutive multiple bands of images with a low signal to noise (S/N) ratio obtained from imaging spectrometer on the reconstruction of reflectance spectrum, an amending method is developed from the digital number (DN) value of trend-face of low S/N ratio band. On the basis of properly estimated the trend-face of DN average values, the highly correlated signal variances are introduced from adjacent band to amending band under the constraint condition of energy ratio of DN in this method. As a result, not only the influence of original noise band on the reflectance spectrum reconstruction is eliminated accordingly, but also the quality of composed images generated from low-ratio S/N band is improved by this amending method. The results show that the application aim of amending defect bands and restoring spectrum characteristics is realized with the new concept of lower-passfilter.

Keywords Imaging spectrometer data, DN value trend-face, Signal to noise ratio, Amending method

0 引 言

成像光谱技术是一种在连续光谱范围内(可见光至近红外、短波红外,甚至热红外),以数十甚至数百波段数成像的高光谱分辨率谱像合一技术,其每

个波段记录的是地物在各波段中心波长处的一个窄波段范围(5~15nm)的反射或辐射能量,具体表现为各像素的亮度值,又称 DN 值(Digital Number).这种谱像合一的成像光谱数据,其每个像素在光谱维对应着一条近乎连续的 DN 值曲线,它包含着相应地物丰富的光谱信息^[1].以成像光谱仪为传感器

基金项目:国家发展计划委员会“北京精准农业示范工程”项目(A00300100584)资助

收稿日期:2002-03-02;改回日期:2003-04-20

的高光谱遥感是人们期望通过遥感方法获取更多信息的必然发展,也是当代遥感的前沿和热点之一[2].

高光谱遥感把地物分类从植被、道路、耕地、居民区、水体等大类区分带到了对同种植被或作物进行不同品种精细划分和把对植被的宏观认识带到了对植物生化组分进行研究的微观境界,已展现出了诱人的应用前景[3].

在 20 世纪 80 年代初至今的 20 多年间,人们已研制出各种高光谱分辨率的成像光谱仪,且这些成像光谱仪均是用连续的光谱曲线来记录和描述地物的光谱特征,并以此建立了各种地物结构和组成成分的光谱特征统计相关模型[4]. 成像光谱仪的出现,使人们利用已有的光谱特征模型大面积地诊断地物特性成为可能[5],而成像光谱数据与光谱特征诊断模型在应用上的链接,则通常是通过成像光谱数据的反射光谱重建来实现的[6],但由于受光谱分辨率和信噪比的影响,致使利用成像光谱数据重建反射光谱的精细程度一般远低于非成像光谱辐射计所得结果[6],尤其是成像光谱数据中连续多帧低信噪比图象的出现,对重建反射光谱的影响将更大,甚至造成在噪声点上失真[6].

本文以 OMIS (Operative Modular Imaging Spectrometer) 成像光谱数据为例来介绍一种基于 DN 值趋势面的低信噪比图象修复方法.

1 试验数据

中国科学院上海技术物理所研制的实用模块化成像光谱仪 OMIS 是一种机载高光谱遥感传感器,它是采用点扫描方式成像,瞬时视场 3mrad,总视场约 70°,其波谱范围覆盖了可见/近红外、中短波红外和热红外区,共计 128 个波段. 其中可见/近红外区间(0.46~1.1μm)64 个波段,短波红外(I)区间(1.2~1.9μm)32 个波段,短波红外(II)区间(2~2.5μm)16 个波段,中波红外区间(3~5μm)8 个波段,热红外区间(8~12.5μm)8 个波段. OMIS 成像光谱仪的综合性性能指标已达到了国际同类仪器的先进水平.

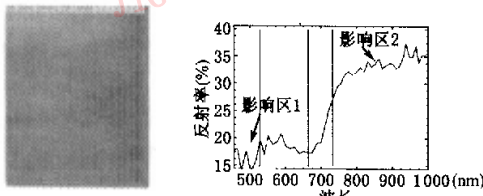
成像光谱数据质量除取决于信噪比等主要性能指标外,还与气象条件等环境因素有关. 对 2001 年 4 月 11 日在北京昌平小汤山精准农业示范基地获取的 OMIS 数据(以 431×541 像素试验图象的前 60 个波段为例)按 5 个等级进行质量评价,结果如表 1 所示. 由表 1 可见,在可见光范围内,出现了 1~4 连续 4 个信噪比很低的波段,在近红外区出现了 56~60 连续 5 个信噪比很低(即表 1 中差和较差)的波段.

图 1 所示为 2 个连续低信噪比波段(由若干连续波段组成)对重建反射光谱的影响.

表 1 2001 年 4 月 11 日小汤山基地 OMIS 数据目视评价

等级	差	较差	中等	较好	好	
波段 (中心波长 nm)	1(455.70)	2(465.00)	5(502.80)	10(565.40)	13(602.50)	25(745.00)
	56(1038.40)	3(477.30)	6(515.30)	11(577.70)	14(614.50)	26(756.00)
	60(1066.7)	4(489.90)	8(540.50)	12(590.00)	15(626.50)	27(767.10)
		7(527.70)	9(553.10)	35(853.70)	16(638.30)	28(778.10)
		44(940.20)	40(903.10)	36(863.90)	17(652.00)	29(789.20)
		47(966.80)	41(912.60)	37(874.00)	18(663.90)	30(799.90)
		57(1046.10)	46(958.10)	39(893.70)	19(675.80)	31(810.60)
		58(1052.80)	50(993.40)	50(993.40)	20(687.50)	32(821.10)
		59(1059.70)	52(1008.40)	45(949.20)	21(699.20)	33(833.00)
			54(1023.90)	48(975.10)	22(710.90)	34(843.50)
			55(1031.40)	49(984.30)	23(722.50)	38(883.90)
				51(1000.40)	24(733.90)	42(922.00)
				53(1016.30)		
	波段统计	3	9	11	13	24

等级说明:差,噪声严重,图象纹理不清;较差,噪声较严重,图象纹理模糊;中等,有噪声,图象纹理较清晰;较好,少量噪声,纹理清晰;好,纹理十分清晰



(a) 中心波长为 455.7nm 的第 1 波段图象 (b) 图 1(a)中小麦地块小麦冠层的反射光谱曲线

图 1 低信噪比波段图象及其对重建反射光谱的影响

2 低信噪比波段修复算法与实现

2.1 DN 值趋势面

众所周知,成像光谱数据记录的是地物在各波段中心波长的一个窄波段范围的反射或辐射能量,即相同地物在不同波段表现为不同的 DN 值. 图 2 所示为 60 个波段的 DN 值均值曲线.

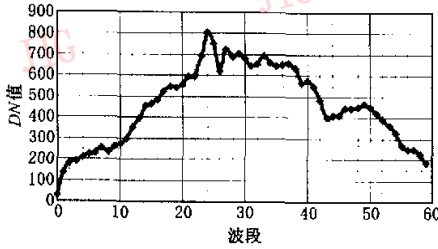


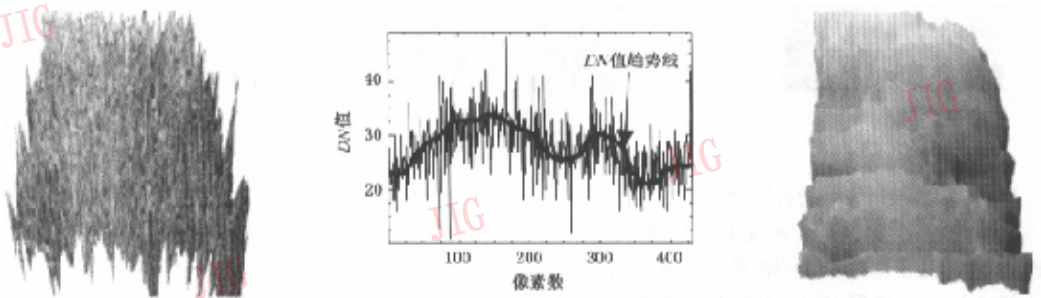
图 2 OMIS 成像光谱数据前 60 个波段 DN 值均值曲线

逐行对某波段亮度值按下式

$$B_i = \begin{cases} \frac{1}{W} \sum_{j=0}^{W-1} A_{i+j-\text{int}(\frac{W}{2})} & i = \frac{W}{2}, \dots, N - W \\ A_i & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中, A 为图象的行向量, N 为行向量 A 中元素的个数, W 为平滑窗口宽度.

进行变宽迭代平滑计算所得 DN 值均值曲线即为各行亮度值趋势线. 图 3(b)所示的 DN 值趋势线是由式(1)分别取平滑窗口宽度 $W=3, 7, 15$ 个像素, 进行 3 次迭代平滑所得.



(a) 原始图象 DN 值的 3 维显示

(b) 原始图象某行 DN 值及趋势线

(c) DN 值趋势面的 3 维显示

图 3 第 1 波段 OMIS 图象 DN 值及其趋势线、趋势面

DN 值趋势线在二维图象上即构成该波段 DN 值的趋势面(图 3(c)).

2.2 引入能量比条件的纹理移植算法

实际上, OMIS 图象 DN 值趋势面即该波段反射或辐射能量分布, 也即低通滤波去噪后的图象. 由图 3(c)可见, 该图象较好地反映了该波段 DN 值水平, 但由于纹理模糊, 因此参与彩色合成时将会影响合成图象的清晰程度. 为改善低通滤波去噪后图象的纹理状况, 本文尝试采用一种保持邻域内 DN 值均值不变的高相关(邻近)波段图象纹理移植方法.

逐行移植纹理(方差)信息时, 首先将目标波段 DN 值趋势面表示为函数 $f(x_0)$, 若将源波段 DN 值

趋势面表示为函数 $f(x_{(from)})$, 则有能量比条件函数, x 为像素值

$$F(x_{i,j}) = \frac{f(x_{(to)i,j})}{f(x_{(from)i,j})} \quad (2)$$

式中, $i=0, 1, 2, \dots, n$ 为列数; $j=0, 1, 2, \dots, m$ 为行数.

于是, 当源波段亮度值图象为

$$D = \begin{bmatrix} d_{0,0} & d_{0,1} & d_{0,2} & \dots & d_{0,n} \\ d_{1,0} & d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{m,0} & d_{m,1} & d_{m,2} & \dots & d_{m,n} \end{bmatrix}$$

时, 则有目标波段 DN 值图象为

$$\tilde{D} = D \cdot F(x)^T = \begin{bmatrix} d_{0,0}F(x_{0,0}) & d_{0,1}F(x_{0,1}) & d_{0,2}F(x_{0,2}) & \dots & d_{0,n}F(x_{0,n}) \\ d_{1,0}F(x_{1,0}) & d_{1,1}F(x_{1,1}) & d_{1,2}F(x_{1,2}) & \dots & d_{1,n}F(x_{1,n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{m,0}F(x_{m,0}) & d_{m,1}F(x_{m,1}) & d_{m,2}F(x_{m,2}) & \dots & d_{m,n}F(x_{m,n}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

\tilde{D} 即纹理移植后的修复波段图象.

2.3 实验结果与分析

以图 1 所示第 1 波段为例用本文方法进行了 DN 值修复实验, 修复步骤如下:

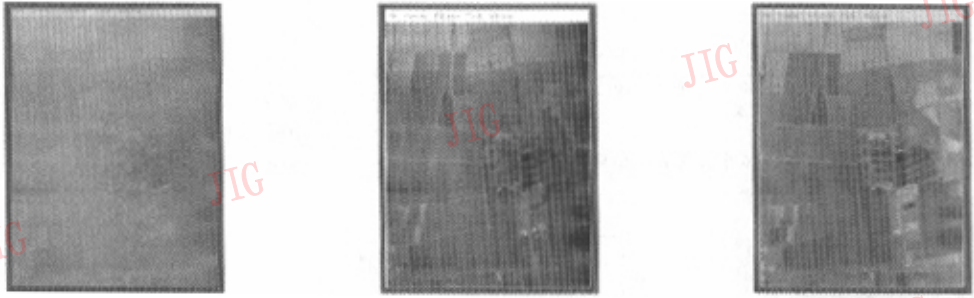
- (1) 选择源波段

由于第 1 波段信噪比太低, 以致与邻近波段相关性均不是很强, 同时因第 2、3、4 和 7 波段本身信噪比较低, 故未被列入待选对象. 在表 2 中, 按波段间相关性最强和中心波长相距相对较近的原则, 选择第 9 波段作为源波段.

表2 第1波段 OMIS 数据与邻近波段相关性

待选波段	5	6	8	9	10	11	12
相关系数	0.64332	0.61470	0.64645	0.71953	0.62915	0.62023	0.57308

(2) 能量比条件函数与方差信息引入



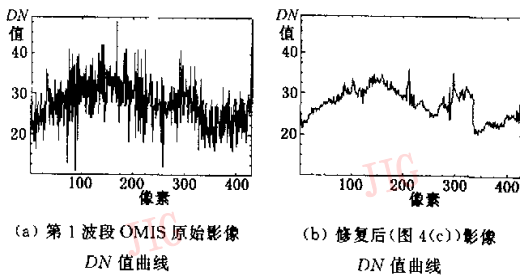
(a) 第1波段原始遥感图象 (b) 能量比条件引入方差信息的结果 (c) 目标波段趋势面行间平滑后的结果

图4 第1波段 OMIS 图象 DN 值修复及改善结果

(3) 目标波段趋势面的行间平滑

由图4(b)可见,植入方差信息后的图象上有明显横向条斑,这是因为在目标波段图象上,以行为单位获取 DN 值趋势线,并由此构成趋势面时,由于受噪声强度及其分布的影响, DN 值趋势线间存在着明显跳跃,因此,有必要对目标波段 DN 值趋势面进行行间平滑,然后用平滑后 $\tilde{f}(x_{i0})$ 的代入式(2)构成能量比条件对图象进行处理,以改善植入效果,其结果如图4(c)所示。

图5为目标段修复前后某一行 DN 值曲线,对照图5(a)、图5(b)可以看到,修复后的 DN 值(图5(b))较好地继承了目标波段的 DN 值,即可以认为,图5(b)为图5(a)的去噪结果。



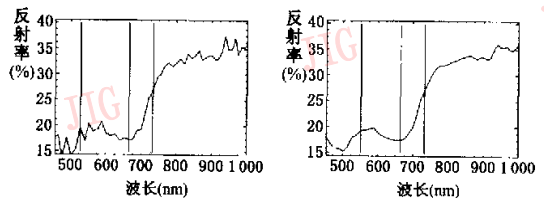
(a) 第1波段 OMIS 原始影像 DN 值曲线 (b) 修复后(图4(c))影像 DN 值曲线

图5 目标波段修复前后某一行 DN 值曲线

首先依照式(2),以第9波段为源波段,第1波段为目标波段,进行逐行计算,并构建能量比条件 $F(x_i, j)$,然后按式(3)引入方差信息对图象进行修复,其结果如图4(b)所示。

图版 I 图3为修复前后的第1波段(中心波长 455.7nm)分别与第18波段(中心波长 663.9nm)和第24波段(中心波长 733.9nm)合成的彩色图象,从图版 I 图3(a)和图3(b)相同区域的放大窗口可见,修复前的低信噪比波段对彩色合成图象的影响较大,修复后的彩色合成图象质量得到了极大地改善。

类似地,可对信噪比较低的第2、3、4、56、57、58、59和60波段进行修复。图6为2个连续低信噪比区间共9波段修复前后的重建反射光谱曲线。表3表明,修复后各波段对 DN 值的继承偏差均小于1%。显见,对连续低信噪比波段修复后,重建的反射光谱质量得到了明显、可靠的改善。



(a) 连续低信噪比区修复前的重建反射光谱 (b) 连续低信噪比区修复后的重建反射光谱

图6 连续低信噪比波段修复前后的重建反射光谱

表3 修复前后各波段 DN 值均值变化情况

波段	1	2	3	4	56	57	58	59	60
修复前 DN 值均值	30.798	136.005	179.312	191.696	268.53	249.135	250.198	226.264	186.179
修复后 DN 值均值	30.768	135.913	179.236	191.658	268.485	249.263	250.237	226.182	186.280
相对误差(%)	1.0	0.6	0.42	0.15	0.17	0.51	0.16	0.36	0.54

4 结 语

本文所述算法,在准确估计修复(目标)图象 DN 值均值趋势面的基础上,通过引入能量比约束条件,将高度相关的邻帧信号方差引入目标图象,从而较好地解决了成像光谱数据低信噪比波段的修复问题。尽管该修复方法在整个成像光谱数据集中并不能使信息量增加,但仍在如下方面具有显著的应用意义:

(1) 较好地消除了低信噪比波段噪声对反射光谱重建的影响,有效地恢复了该波段所携带的光谱信息,使局部病态的重建反射光谱得以健康修复。因为这种以整波段图象 DN 值趋势面为依据的低通滤波,较反射光谱重建中常用的光谱维滤波更具稳健性;

(2) 显著地提高了低信噪比波段参与合成的图象质量,即修复后的各波段图象不仅具有清晰的纹理,而且比较准确地还原了该波段 DN 值特征,这样就使本已丢失的病态波段用于各种专题图象的合成成为可能。

基于 DN 值趋势面的成像光谱数据低信噪比波段修复技术,以一种新的低通滤波思想实现了病态波段修复、恢复光谱特征这一应用目标。

参 考 文 献

- 1 童庆禧. 遥感信息获取技术的研究与发展[A]. 见:童庆禧主编,遥感应用的实践与创新[C]. 北京:测绘出版社,1990:50~55.
- 2 浦瑞良,宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- 3 Tong Q, Zheng L. Hyperspectral remote sensing in China[A]. In: Proceeding of SPIE, Multispectral and Hyperspectral Image Acquisition and Processing[C], China Wuhan, 2001, 4548:1~7.
- 4 Zhang bing, Wang Xiang-jun, Liu jian-gui *et al.* Hyperspectral Image Processing and Analysis System (HIPAS) and Its Applications [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2000,66(5): 32~38.
- 5 Zagolski F, Pinel V. Forest canopy chemistry with high spectral resolution remote sensing[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996,17(6):1107~1128.
- 6 Cloutis E A. Hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(12): 2215~2242.



杨敏华 1955年生,1998年获武汉测绘科技大学摄影测量与遥感专业硕士学位,2002年7月获中国农业大学博士学位,现为吉首大学资源环境与空间信息技术研究所所长、教授,中国农业大学现代精细农业系统集成技术教育部重点实验室兼职教授,主要从事高光谱遥感农业应用研究,发表学术论文近20篇。



赵永超 1971年生,1994年北京大学地质学系本科毕业,1999年获北京大学地质学系岩石、矿物、矿床学专业博士学位,2002年在中国科学院遥感所博士后流动站出站,现为中科院遥感所副研究员,主要从事高光谱遥感应用研究,发表论文10余篇。



刘国结 1969年生,1990年西北工业大学应用电子技术专业毕业,2000年获西北工业大学信号与信息处理专业硕士学位,2002年获中科院遥感所地图学与地理信息系统博士学位,现从事高光谱遥感应用研究,发表研究论文6篇。



张兵 1969年生,1991年北京大学本科毕业,2002年获中科院遥感所地图学与地理信息系统博士学位,现任中国科学院遥感所研究员,主要从事高光谱遥感信息机理、处理和应用研究,在SCT和EI收录源期刊和国际会议发表文章10余篇。



赵春江 1964年生,1994年获中国农业大学农学博士学位,北京农业信息技术研究中心主任、首席专家、研究员、博士生导师,主要从事智能农业与农业信息化研究,主持完成国家和省部委科技项目15项,获省部级以上科技奖励4项,出版专著1部,发表学术论文近50篇。



童庆禧 1935年生,中国科学院院士,国际欧亚科学院院士,中国科学院遥感应用研究所研究员,博士生导师,主要从事高光谱遥感理论与应用研究,13次获国家及省部级科技进步奖,出版多部遥感应用专著,发表研究论文数百篇。



图2 用本文改进后方法及Snake原型提取的彩色图象边缘

图1 色彩聚类算法的效果演示

杨敏华等：基于DM值趋势面的成像光谱数据低信噪比波段修复研究

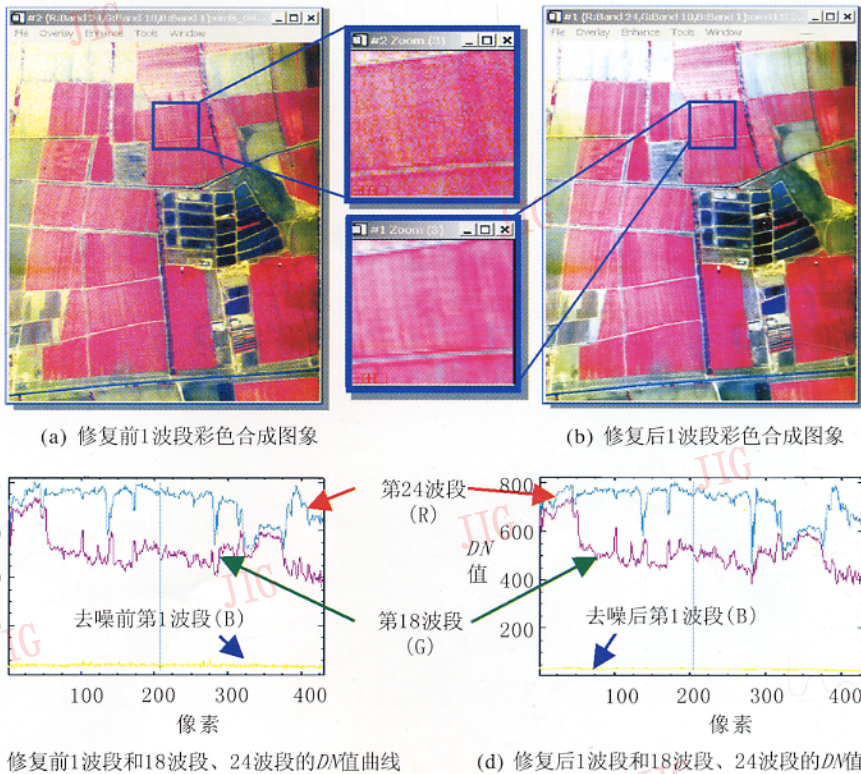


图1 低信噪比波段对彩色合成图象的影响及修复后的改善结果