

文章编号:1001-5078(2007)01-0090-04

# 基于向量相关的高光谱图像真实性检验

马德敏<sup>1</sup>, 王建宇<sup>1</sup>, 马艳华<sup>1,2</sup>, 舒 嵘<sup>1</sup>

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 2. 上海交通大学, 上海 200030)

**摘要:**提出了一种对高光谱图像的真实性进行检验的方法,借助地物光谱仪获取的光谱分辨率更高的同步地物光谱数据,使用光谱角度匹配的方法对高光谱图像光谱信息定量化分析,以此结果作为高光谱图像数据的真实性判据。计算前对参考光谱重采样及对光谱向量进行一阶微分变换,能够减少噪声影响、提高分析结果的可信度。实际飞行数据实验结果证明了这种方法的可行性。

**关键词:**遥感;高光谱图像;真实性检验;向量相关;光谱角度匹配

**中图分类号:**TP751.1      **文献标识码:**A

## Validation of Hyperspectral Image Based on the Correlation of Vectors

MA De-min<sup>1</sup>, WANG Jian-yu<sup>1</sup>, MA Yan-hua<sup>1,2</sup>, SHU Rong<sup>1</sup>

(1. Shanghai Institute of Technology and Physics, CAS, Shanghai 200083, China;

2. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** A new hyperspectral image validation method was proposed. In virtue of higher-resolution hyperspectral data collected by spectrometer, quantitative analysis of the validation of the spectral information was operated on the basis of hyperspectral image by using the method named spectral angle mapper. Then the result of the analysis was referred as criterion of the verification of hyperspectral image. To improve the reliability of the reference spectral vector, which was resampled before being calculated and 1-order differential was employed to reduce noise from spectral vectors. The experiment result validated the feasibility of the method.

**Key words:** remote sensing; hyperspectral image; validation; vectors correlation; spectral angle mapper

### 1 引言

高光谱图像光谱信息的真实性和精确度是评价高光谱图像质量及成像仪器性能的重要指标,定量化遥感技术的发展对高光谱遥感图像可信度及数据产品质量的要求也越来越高。高光谱图像的光谱信息的准确性和精度受到多种因素综合作用产生的影响,在遥感应用中为了确定遥感仪器获得的数据的可靠性及精确度,一般需要从高光谱图像中提取特定的物理参数,并评价这些参数的精确度,即对遥感数据产品进行真实性检验。

本文以中科院上海技术物理研究所研制的机载宽视场高光谱成像遥感器(PHI-III)获取的高光谱

图像数据为分析对象,使用一种基于光谱向量相关性的方法进行高光谱图像的真实性检验,遥感器的光谱分辨率达到4nm,波段范围为410~900nm,总视场是42°,瞬时视场角:沿轨方向0.6mrad,穿轨方向1.2mrad。

### 2 常用检验方法

高光谱图像的真实性定义为:从图像中提取出的目标像元的光谱曲线与实际地物的光谱的接近程

基金项目:国家863计划资助项目(863-13-2002AA130010-1-4)。

作者简介:马德敏(1977-),男,博士研究生,主要研究方向是遥感信息获取及处理技术。

收稿日期:2006-06-06

度,真实性检验是通过独立的方法来评价由遥感系统获得的遥感数据产品的质量的过程<sup>[2-3]</sup>。

一种常用的高光谱图像真实性检验的方法是:根据选定的特殊地物目标的特征光谱曲线,如反射、吸收峰的位置等特征,并结合已知的同名地物的光谱特征进行判断。这种方法简便、直观,能很快地根据特征点对光谱信息的真实性做出初步的判断,但这种方法比较粗糙,只能定性地判别图像的真实性,不能客观、定量地反映出光谱信息的真实度。

### 3 基于向量相关的检验方法

#### 3.1 向量相关原理

对于图谱合一的高光谱图像,设探测器为  $M \times N$  元,光谱维方向上的任一像元都可表示成一维向量的形式:

$$\alpha_k = (\alpha_k(0), \alpha_k(1), \dots, \alpha_k(i)) \quad (1)$$

式中,列向量  $\alpha_k$  代表探测器第  $k$  个像元所接收到的  $i$  个波段的不同辐射强度(或反射率值); $\alpha_k(i)$  代表第  $i$  个波段的值,其中  $k < M, i < N$ 。

根据相关性理论可知,光谱向量在对应波长的位置上的互相关反映了这两个向量相互匹配的程度:

$$\gamma(l, k) = \frac{\delta_{\alpha\beta}^2}{\delta_{\alpha\alpha}\delta_{\beta\beta}} = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \alpha(x+l, y+k)\beta(x, y)}{\sqrt{(\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [\alpha(x, y)]^2)(\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [\beta(x, y)]^2)}} \quad (2)$$

式中,  $M, N$  分别表示图像的空间、光谱维数;  $l, k = 0$  时表示两向量  $\alpha, \beta$  在相同波长位置上的相关度;  $\delta_{\alpha\beta}$  为协方差;  $\delta_{\alpha\alpha}, \delta_{\beta\beta}$  为标准差。

当列向量组  $(\alpha^T, \beta^T)$  的秩为 2, 即  $R(\alpha^T, \beta^T) = 2$ , 表示这两个向量线性无关, 此时式(1)取最小值, 说明两个向量相关度最小; 当  $R(\alpha^T, \beta^T) = 1$ , 式(1)有最大值,  $\gamma(l, k) = 1.0$ , 两个向量的相关度值最大, 这两个向量平行或完全重合。

#### 3.2 光谱角度匹配(SAM<sup>[5-7,9]</sup>)

SAM 是通过计算待测光谱(目标像元光谱)与参考光谱之间的“角度”来确定两个光谱向量之间的相似性, 其中参考光谱通常选取实验室光谱、野外实测光谱或从图像中提取的目标像元光谱。在高光谱图像中由地物光谱组成的多维光谱向量空间, 利用一个光谱矢量角度测量函数求解参考光谱像元向量  $r$  与图像像元光谱向量  $t$  的相似程度, 即:

$$\theta = \arccos \frac{t \times r^T}{\|t\| \times \|r\|} =$$

$$\arccos \left[ \frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{(\sum_{i=1}^n t_i^2)^{\frac{1}{2}} (\sum_{i=1}^n r_i^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (3)$$

式中,  $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ ;  $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ ;  $r_i, t_i$  表示像元在  $i$  个波段上的反射率;  $\|*\|$  为光谱向量的模。

$\theta$  的值域为  $[0, \pi/2]$ , 其值越小, 说明两光谱相似程度越高。从式(3)可以看出  $\theta$  值与光谱向量的模是无关的, 因为两个向量的夹角不受向量长度的影响, 即与图像的增益系数无关。也可通过计算两向量间的夹角余弦值表征它们的相似程度, 其值域为  $[0, 1]$ , 值越接近 1 说明相似程度越高。

因此在具备参考光谱的前提下, 通过分析目标地物波谱曲线, 可以达到区分实测光谱向量与标准参考光谱向量间差别的效果, 并以此作为高光谱图像中光谱信息的真实性检验的依据。

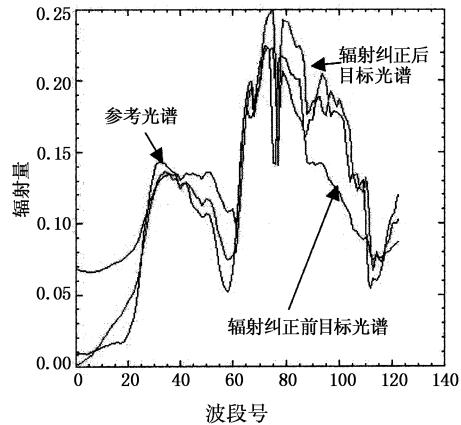


图1 处理前后的光谱曲线及参考光谱曲线

Fig.1 spectral lines proceeded or not and referent line

图1为2005/04/27横店影视城测区辐射纠正前后黄杨叶光谱曲线与同名地物光谱曲线图, 从图中可以直观地分辨出三条曲线间的相似或平行的程度。由此考虑从量化的角度比较图像中目标像元光谱与同名地物的参考光谱向量之间的相似程度, 也可以对图像的真实性进行判断, 而两光谱向量间的相似度可以用光谱角度匹配的方法进行计算。

#### 3.3 参考光谱

真实性检验需要的参考光谱, 通常选择野外同步实测光谱或实验室光谱。实验中使用 Analytical Spectral Devices 的 FieldSpec@ Pro VNIR 光谱仪采集到光谱作为的参考光谱, 波段范围为 350 ~ 1050nm, 光谱分辨率为 1.4nm, 积分时间为 10ms, 波段范围和光谱分辨率都高于高光谱成像光谱仪, 因此需要对地物光谱仪测得光谱数据进行光谱重采样, 即根据成像光谱仪的中心波长对地物光谱仪获取的数据进行重采样。由于重采样时成像光谱仪的中心波段

的波长不能完全和地物光谱仪相应波段的波长吻合,而实际应用中,宽视场成像光谱仪也是使用了4像元线性合并的方法获取像元DN值的,因此可以考虑使用加权平均的方法对参考光谱进行重采样:

$$\bar{D} = \sum_i \delta_i D_i \quad (4)$$

式中,  $\bar{D}$  为重采样后光谱辐射量值;  $\delta_i$  为第  $i$  个分量权重值;  $D_i$  为第  $i$  个分量光谱辐射量值。

### 3.4 仪器定标

为获取中心波长对成像光谱仪进行光谱定标,实验中利用专用单色仪、准直系统和光源组成实验室定标系统,用波长扫描法进行光谱定标。

面阵 CCD 探测器的响应差异,会造成高光谱图像在空间维上的不均匀现象及光谱维上的光谱信息失真,因此需要对光谱仪进行辐射定标。实验中使用积分球作为定标源,采集探测器的暗电流和不同能级情况下的定标值,反演出辐射纠正系数以用于数据的后处理,并借助定标数据把成像光谱仪输出的数字量转换成辐射量。

### 4 实验结果

对 PHI - III 获取的上海世博园测区数据和浙江横店影视城测区数据进行处理,并使用地物光谱仪采集的同步地物光谱数据作为参考光谱,分别计算辐射纠正前后的目标点地物光谱向量与参考光谱向量的光谱夹角余弦值,计算结果见表1和表2,其中 a、b 列各表示对参考光谱简单重采样和临域重采样之后与待检光谱的计算结果。

表1 上海世博园测区目标点光谱向量与参考光谱向量之间光谱夹角余弦的计算结果

地物名称	目标点光谱向量与参考光谱向量之间的光谱夹角余弦			
	待检光谱为辐射纠正前图像的光谱		待检光谱为辐射纠正后图像的光谱	
	a	b	a	b
灌木	0.880371	0.908455	0.973625	0.989036
草地	0.874937	0.889606	0.954430	0.960977
侧柏	0.903703	0.914352	0.960013	0.980324
水池水	0.934512	0.948270	0.966710	0.975843
水泥地	0.950648	0.969534	0.9794518	0.986335

辐射纠正后的图像减少了像元噪声在某些波段对光谱信息的影响,可提高图像光谱的真实性和可靠性。从表1、2的结果可以看出,辐射纠正后图像光谱曲线与参考光谱的夹角余弦值都要高于辐射纠正前图像光谱与参考光谱间的夹角余弦值,说明与参考光谱曲线的相似度较高,由此可判断辐射纠正

后图像的光谱信息的真实性要高于辐射纠正前的图像。

表2 浙江横店影视城测区目标点光谱向量与参考光谱向量之间光谱夹角余弦的计算结果

地物名称	目标点光谱向量与参考光谱向量之间的光谱夹角余弦			
	待检光谱为辐射纠正前图像的光谱		待检光谱为辐射纠正后图像的光谱	
	a	b	a	b
绿色灌木	0.960120	0.960378	0.989735	0.990045
暗红色灌木	0.891541	0.891916	0.972340	0.972739
草地	0.960822	0.961133	0.987859	0.988217
广场红色地砖	0.984558	0.984742	0.970239	0.970429
方条石台阶	0.948806	0.948957	0.973734	0.973868
坚实土地	0.972109	0.972288	0.989641	0.989792

此外对于相同的待检图像光谱,使用临域重采样后的计算结果值高于使用简单重采样法后的计算结果值,这是因为使用临域重采样,相对简单重采样能减小参考光谱与待检光谱间的误差,从而可进一步帮助提高真实性判断的准确度。

表3 上海世博园测区光谱一阶微分后夹角余弦

地物名称	原始图像	辐射纠正
灌木	0.260931	0.295368
草地	0.219253	0.232528
侧柏	0.220712	0.233753
水池水	0.123383	0.175662
水泥地	0.129351	0.196295
灌木	0.295368	0.295368

表4 浙江横店影视城测区光谱一阶微分后夹角余弦

地物名称	原始图像	辐射纠正
绿色灌木	0.200125	0.225374
暗红色灌木	0.219253	0.232528
草地	0.220712	0.233753
广场红色地砖	0.123383	0.175662
方条石台阶	0.129351	0.196295
坚实土地	0.137874	0.189067

由于在可见波段遥感应用基础为地物反射吸收特征,因此为了突出地物的吸收、反射峰,减少非光合物质(土壤岩石等)的背景噪声的影响,考虑对光谱向量求一阶微分,一阶微分后能突出光谱曲线的吸收反

射特征,增强向量间的匹配差异<sup>[8]</sup>,计算结果(如表3和表4所示)与表1、2的结果是基本一致的。

## 5 结论

(1)高光谱图像的真实性是高光谱图像质量评价的重要指标之一,根据向量的相似性理论,借助SAM方法计算光谱向量间的夹角余弦值,能够有效地从量化的角度获取图像光谱与参考光谱之间的相似度信息,从而为判断图像的真实性提供可置信度较高的依据;

(2)对参考光谱向量使用临域重采样及对光谱向量进行一阶微分变换,都能从一定程度上消除噪声干扰,从而提高了计算结果的精度,并能增强真实性判据的可信度;

(3)通过对高光谱图像真实性进行检验,能及时地判断和控制图像数据的质量,从而进一步提高地物识别的准确性和精度,提升数据应用中高光谱信息的可靠性。

## 参考文献:

[1] 村井俊治. 遥感精解[M]. 北京:测绘出版社,1993.

- [2] 陈清莲,等. 海洋光学遥感的辐射定标与数据真实性检验综述[J]. 海洋技术,1998,17(3):13-26.
- [3] 陈清莲,等. HY-1卫星水色扫描仪的辐射定标与真实性检验[J]. 海洋技术,2003,22(1):1-9.
- [4] 宫鹏,浦瑞良. 不同季相针叶树种高光谱数据识别分析[J]. 遥感学报,1998,2(3):211-217.
- [5] 童庆禧,等. 湿地植被成像光谱遥感研究[J]. 遥感学报,1997,11(1):50-60.
- [6] 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.
- [7] Drake N A. Mapping vegetation, soil, and geology in semi-arid shrub lands using spectral matching and mixture modeling of SWIR AVIRIS imagery[J]. Remote Sensing Environment, 1998,68:12-25.
- [8] 许卫东,匡定波,等. 红外与毫米波学报[J]. 2005,24(4):296-300.
- [9] 孙即祥. 现代模式识别[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2002.
- [10] 马德敏. 基于高光谱图像特征的图像质量评价方法研究[D]. 上海:中国科学院上海技术物理研究所硕士学位论文,2005.