

文章编号:1001-9014(2005)04-0296-05

地物光谱匹配模型比较研究

许卫东^{1,2}, 尹球¹, 匡定波¹

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 2. 上海海洋气象遥感中心, 上海 200030)

摘要:在大量实测的城市地物光谱数据的基础上,对3种有代表性的光谱匹配模型,即最小距离、光谱角度匹配(SAM),光谱相似度匹配进行了深入计算和分析,在这3种模型中,以SAM表现程度较好,但都不是最理想,区分程度不是很高.为增强区别程度,本文引入了导数对光谱匹配模型进行了重新计算,分析结果表明,一阶导数能明显增加3种光谱匹配模型的区分度,尤其是最小距离法增加非常明显.

关键词:高光谱遥感;地物光谱;最小距离;光谱角度匹配;光谱相似度匹配;导数

中图分类号:04334 **文献标识码:**A

COMPARISON OF DIFFERENT SPECTRAL MATCH MODELS

XU Wei-Dong^{1,2}, YIN Qiu¹, KUANG Ding-Bo¹

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. Shanghai Marine Meteorological Center in Remoto Sening, Shanghai 200030, China)

Abstract: Tree spectral match models including minimums distance (MD), spectral angel model (SAM), spectral correlation fitting (SCF), were calculated and analyzed based on the spectrums taken from the field. However, the difference of the three models is not significant. The SAM was better but far from the best. Under this circumstance, derivative method was used to enhance the ability of discrimination. The match models were recalculated after the first derivative. Better results are achieved and the discriminability is remarkably enhanced, especially to the minimums distance model.

Key words: hyperspectral remote sensing; spectral match model; minimums distance; SAM; SCF; derivative

引言

遥感的目的是通过对图像的定性、定量分析,深入研究各种自然环境要素.由于组成成份的差异地物覆盖形成了可诊断的典型光谱反射特征,这成为地物光谱识别的物理基础.迄今为止各种航空和航天遥感仪的工作波段选择都与对波谱特性的分析密切相关.光谱匹配模型通过对地物光谱与参考光谱的匹配或地物光谱与数据库的比较,求算它们之间的相似性或差异性,突出特征谱段,有效地提取光谱维信息,以便对地物特性进行详细分析.

目前,最为常用的几何模型有最小距离和光谱角模型,两者都基于欧氏空间,最小距离表征两向量间的几何距离,光谱角(Spectral Angle Mapped, SAM)表征两向量的夹角,由Kruse等人于1992年提出^[1],2000年Carvalho & Meneses对SAM模型进行了改进,提出Spectral Correlation Mapper

(SCM)^[2],2001年OSMAR等人在SCM基础上提出Spectral Identification Method (SIM)模型^[3].1995年Clark & Swayze提出Spectral Feature Fitting (SFF)^[4],Meer & Bakker 1997建立了交叉相关波谱匹配技术,考虑了地物光谱之间的相关系数、偏度和峰值及相关显著性标准^[5].本文主要分析了最小距离、光谱角度,相关系数对光谱相似性的体现程度,并引入了导数光谱凸现光谱相似度及差异性.

1 试验数据

上海技术物理研究所为进行城市遥感及地物光谱特性的研究,获取了大量的实测地物光谱数据.光谱测量采用GER1500光谱仪.GER1500是美国Geophysical & Environment Research Corporation (GER)公司1996年的产品,视场角为 $3 \times 0.1^\circ$,波长范围为350~1050nm,共512个波段,光谱分辨率为3nm,数字量化为16bit^[6].测量选择晴朗、少云、小

收稿日期:2003-11-03,修回日期:2004-09-21

Received date: 2003-11-03, revised date: 2004-09-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40271084)上海市科技发展基金重大资助项目(011661077,02DZ15001,02DZ15002)

作者简介:许卫东(1975-),男,河南周口市人,在读博士生,主要研究方向为高光谱遥感.

风的天气进行,并尽量选择卫星的过境时间以便于对应^[7].共测量了数十种地物,然后从中选取 10 种城市地物(如表 1 所列),包括 4 种植被:草坪、小叶黄杨、冬青,小松树,主要考虑到这些植被较为常见,且密集分布植株矮小,便于野外测量;3 种不同颜色的地砖:红色地砖、灰色地砖、黄色地砖;3 种常见的路面:水泥路、柏油路、大理石,每种地物至少测量 9 个样本,测量时间均为上午 10h~14h 之间.对每一种地物的光谱滤波后按其测量个数取平均值得其测量值.

光谱曲线如图 1 所示.从图中可以看出,4 种植物由于都含有叶绿素而表现出相似的曲线,绿色道砖的绿光部分与植被也很相似,水泥路面和大理石的反射率比较高,呈缓慢上升之势,而柏油路反射率较低,同时也较为平直.4 种植物可能代表相似的同类地物,黄色道砖、绿色道砖,红色道砖代表不同颜色的同类地物,沥青、水泥、大理石代表城市典型下垫面的不同材质,但由于沥青与大泥、大理石的光谱差异较大,将其单独作为一类,这样将 10 种地物分为 4 类.

2 基本模型算法简介

2.1 最小距离

相似性度量的基本假设是:如果 2 个地物的光谱特征或其简单的组成部分仅有微小差别,称这 2 种地物是相似的,微小差别是指距离在一个阈值之下.最简单的方法是以各类训练地物光谱集合,并以

点距离作为样本相似度度量的主要依据^[8].这种方法适用于要识别的每一个类都有一个代表向量(均值向量)的情况.先求出未知向量到各代表向量的距离,通过比较将其归为距离最小的一类.一般用欧氏距离来表述“距离”.

2.2 光谱角度匹配(SAM)

光谱角度定义为两地物光谱矢量之间的广义夹角余弦为相似函数,即为用得较为广泛的广义夹角匹配模型.将象元 N 个波段的光谱响应作为 N 维空间中的矢量,则可通过计算它与最终光谱单元之间的广义夹角来表征其匹配程度:夹角越小,说明越相似^[9].两矢量广义夹角余弦为

$$\cos(\theta) = \frac{X \cdot Y}{|X||Y|} \quad (1)$$

最终光谱单元可从光谱库中得来,也可直接由图像中通过选择训练区抽取出来.夹角余弦反映了几何上的相似性,对于坐标系的旋转及放大缩小都是不变的.

2.3 光谱相似度(SCF)

光谱匹配需要一个指标来衡量在整个测量的波长范围内光谱的相似程度,可以用相关系数进行测度.相关系数定义为

$$\gamma_{xy} = \frac{\delta_{xy}^2}{\delta_{xx}\delta_{yy}} = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

其中 x, y 为目标光谱与参考光谱; \bar{x}, \bar{y} 表示平均光谱; δ_{xy} 为协方差, δ_{xx}, δ_{yy} 为标准差.

3 光谱匹配度分析

本文利用实测数据中的 10 条光谱数据,对 2 个库的 10 个数据进行两两匹配,分别求得其最小距离、SAM、SCF 匹配的匹配数据,这样得到要本光谱的 300 个匹配程度数据,去除重复得到 150 个有效数据.利用相同的方法对 USGS 库进行处理,得到另外一组有效数据,用以进行结果检验及比较.在此基础上比较不同匹配模型对不同地物光谱的表现程度.由于最小距离与光谱的单位有关,且距离越小表示越相似,不利于其与其他匹配模型的对比,本文对其进行了归一化处理,首先使其值位于(0,1)之间,然后取负再加 1.这样,其距离越大表示越相似.同理,对 SAM 取其弦值,使其值位于(0,1)之间. SCF 的取值位于(-1,1)之间.

如图 2 所示,在与冬青的匹配中,4 种植物都表现出了较高的相关性,都接近于 1;绿色道砖的相关

表 1 实测地物类型
Table 1 Field objects

实测地物	植被			道砖			路面			
名称	冬青	小叶黄杨	小松树	草坪	黄道砖	绿道砖	红道砖	沥青路	水泥地	大理石
实测个数	9	12	9	18	18	12	9	18	12	18

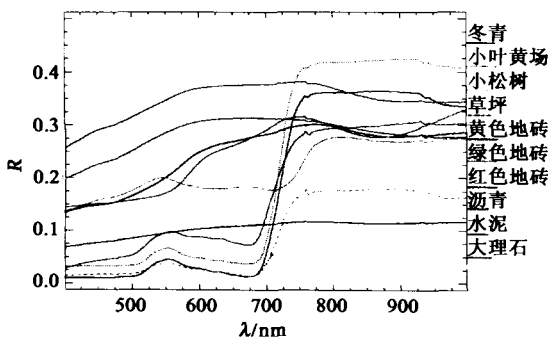


图 1 实测地物光谱曲线

Fig. 1 Spectrum of the field objects

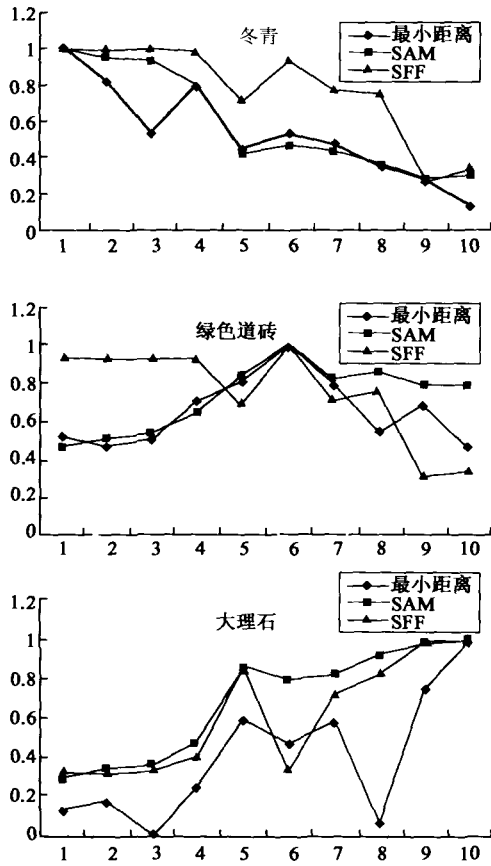


图2 地物光谱匹配度
Fig.2 Matching results

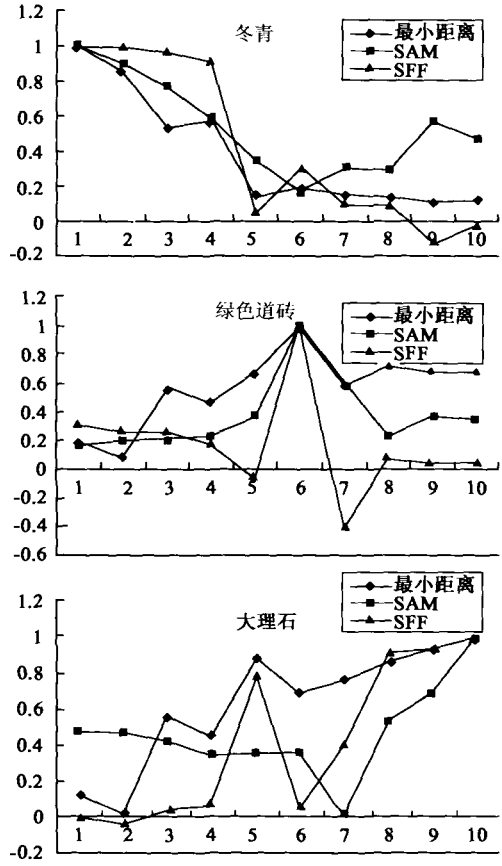


图3 地物光谱匹配度(求导后)
Fig.3 Matching results (after derivative)

性也较高,达0.9;黄色道砖、红色道砖,沥青路面比较接近,0.7左右;水泥与大理石则较低,仅为0.3左右.而SAM不仅将植被与其它地物区分开来,同时四种植被也可以被区分,分别为1,0.95,0.93,0.8;同样,3种道砖与下垫面均可以依此区分.但小松树与绿色道砖的最小距离相同,无法区分.

在与绿色道砖的匹配中,4种植被可以通过SAM与SCF区分开来,区分度SAM稍大.黄色道砖、红色道砖与柏油路的SAM与SCF值接近,难以区分,水泥路与大理石则可以通过SCF与其他地物区分开来.最小距离区分度依旧不大.

与大理石的匹配中,SAM能区分出三类地物并将类内地物区分开来;SCF能将大理石、水泥地与其他地物区分开来,最小距离也同样可以.

通过以上分析,最小距离模型表现不佳,不能够高效地区分地物;SCF在区分类别时区分度尚可,但不能区分类内及相似的地物;SAM区配模型最为理想,但有时也难以区分相似的地物,如在与绿色道砖的匹配中,不能有效地区分道砖与柏油路面,对

USGS 光谱库的分析可得到相同的结论,因此,我们有必要引入一种新的手段,以加大这些模型的匹配差异以更好地区分地物.

4 导数光谱

导数作为分析光谱的有效手段最早在分子光谱学中引入,随后被证实一阶或二阶导数能够部分消除大气效应、太阳高度角、覆盖云层,地形引起的亮度变化,受太阳光及杂散光的比例变化影响也较原始光谱要小.一般认为,导数光谱在去除部分线性或接近线性的背景、噪声对目标的影响,如在消除植被环境背景影响方面被发现可除去变化较小的土壤背景的影响.虽然更为高阶的导数也有人研究过,但一阶或二阶导数往往更为有用且包含了大部分的信息.一阶导数的计算方法如下:

$$d'(x_i) = [x_{(i+1)} - x_{(i-1)}] / 2\Delta x \quad (3)$$

二阶导数可在一阶导数的基础上求得:

$$d''(x_i) = [d'_{(i+1)} - d'_{(i-1)}] / 2\Delta x \quad (4)$$

其中d表示导数,x表示反射率,i表示波段.

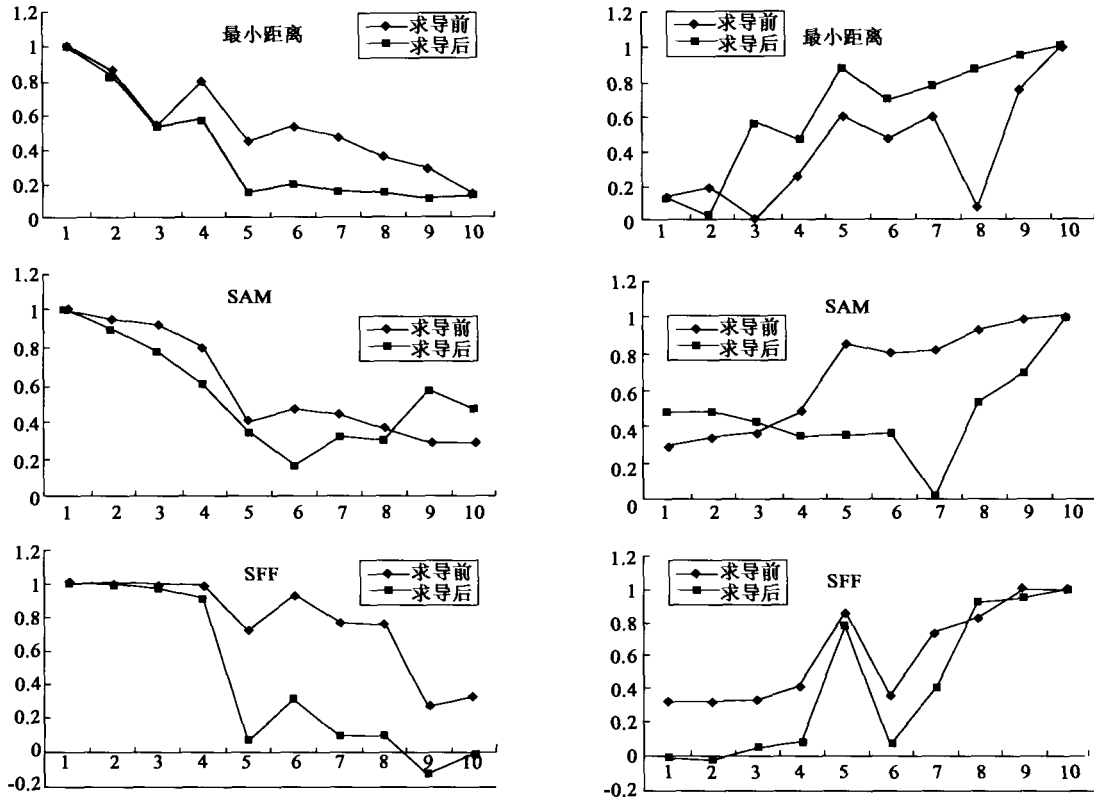


图4 冬青与大理石求导前后光谱匹配度比较
 Fig.4 Comparison of matching results before and after derivative (Chinese ilex and marble)
 注1:左为冬青,右为大理石 注2:序号与地物对应同图3

再高一阶的导数如三阶等也可以在二阶的基础上求得.本文对样本光谱求一阶导数,得到一个新的光谱库文件,再进行两两匹配得到求导后的150个匹配数据.然后在一阶基础上可求得二阶导数,在二阶的基础上可得三阶,本文仅对一阶导数进行了分析计算(见图3和图4).

求导后,地物间的匹配差异明显增加,如图3所示,在与冬青的匹配中,4种植被的相关性依然很高,

表2 冬青求导前后光谱匹配度比较

Table 1 Matching results of Chinese ilex before and after derivative

匹配结果	冬青	小叶黄杨	小松树	草坪	黄色道砖	绿色道砖	红色道砖	沥青路面	水泥地	大理石
MD	1.00	0.83	0.53	0.79	0.44	0.53	0.47	0.35	0.29	0.13
SAM	1.00	0.95	0.93	0.80	0.41	0.47	0.44	0.37	0.29	0.29
SCF	1.00	1.00	1.00	0.99	0.72	0.93	0.77	0.75	0.28	0.33
DMD	1.00	0.86	0.53	0.57	0.15	0.19	0.15	0.14	0.11	0.12
DSAM	1.00	0.90	0.78	0.60	0.34	0.16	0.32	0.30	0.57	0.47
DSCF	1.00	0.99	0.97	0.92	0.06	0.31	0.10	0.10	-0.13	-0.01

注:DMD、DSAM、DSCF 分别表示求导后最小距离,光谱角及光谱相关模型

但已有了一定的差异,绿色道砖的相关系数减至0.3左右,大理石和水泥路则出现了负值,区分度明显增加;SAM模型中4种植被间的差异也拉大了,最小距离也能将植被与其它6种地物区分开来,且植被与非植被间存在0.3左右的距离(见表2).

与绿色道砖的匹配与冬青类似,区分度都得到了不同程度的增强,黄色与红色道砖的相关系数为负值,4种植被的相关系数在0.2~0.3之间,沥青、水泥、大理石的相关系数在0.1左右;SAM模型中4种植被与绿色道砖的光谱角集中在0.2附近,红色道砖的夹角较大在0.6以上,水泥地为0.23,黄色道砖、水泥地,大理石均在0.4左右;最小距离法中4种植被间的差异拉大了(相对于求导前),黄色道砖与红色道砖较为接近0.6,而沥青、水泥地,大理石在0.7左右.

同样,在与大理石的匹配中,沥青、水泥与大理石的相关较高,绿色道砖、4种植被相关度最小,有2种植被还出现了负值;SAM模型中沥青、水泥与大理石匹配度较高,但也可以很容易地加以区分,植被与其它地物之间的区分不大;最小距离中各地物的

区分明显,且同一类地物的距离接近.

图 4 为冬青与大理石求导前后光谱匹配程度比较,这 3 种模型的匹配度都得到了不同程度的增强.最小距离法可有效地区分光谱,类间距离增大,类内距离减小;SAM 类内类间距离都增大;SCF 类间距离增大,类内距离基本不变.对 USGS 数据的分析及验证结果与此类似,由于篇幅所限,文中不再详述.

5 结语

通过对求导前后 2 个光谱库中 3 种不同匹配模型的匹配度计算和分析,可得出以下结论:

1. 原始数据的最小距离不能高效地反映光谱之间的匹配程度,SAM 与 SCF 均可有效地反映原始光谱之间的匹配程度,其中以 SAM 较好.
2. 求导后,各匹配模型的对光谱相似性的表现力均有所增加,其中尤以最小距离增强得最为明显.类间的距离相对增加,可分离程度明显增大.不同类之间的 SCF 数据不同程度地出现负值,使得用该模型区分求导捕捞地物更为容易.

致谢 本文的光谱采集工作得到了张风丽、周宁、巩彩兰、马永泉、胡勇等同学的支持和帮助,在此一并致谢.

REFERENCES

- [1] Kruse F A, Lefkoff A B, Boardman J W, et al. The spectral image processing system (SIPS)-software for integrated analysis of AVIRIS data [C]. *Summaries of the 4th Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*. Pasadena: JPL Pub, 1992, 23—25
- [2] Carvalho Jr O A, Meneses P R. Spectral correlation mapper (SCM): An improving spectral angle mapper [C]. In: *Ninth JPL Airborne Earth Science Workshop*. Pasadena: JPL Publication, 2000, 65—74.
- [3] Osmar, Ana Paula, Paulo Roberto, et al. Spectral identification method (Sim): A new classifier based on the anova and spectral correlation mapper (SCM) methods [C]. Pasadena: JPL Publication, 2001.
- [4] Clark R N, Swayze G A. Mapping minerals, amorphous materials, environmental materials, vegetation, water, ice and snow, and other materials: The USGS tricorder algorithm [C]. In: *Summaries of the Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop*. Pasadena: JPL Publication, 1995, 39—40.
- [5] PU Rui-Liang, GONG Peng. *Hyperspectral Remote Sensing and its Application* [M]. Higher education press (浦瑞良, 官鹏. 高光谱遥感及其应用. 北京: 高等教育出版社), 2000, 8.
- [6] LIU Tang-You, KUANG Ding-Bo, YIN Qin. Study on hyperspectral quantitative model of concentrations for chlorophyll- α of ALGA and suspended particles in tailake [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (刘堂友, 匡定波, 尹球. 湖泊藻类叶绿素- α 和悬浮物浓度的高光谱定量遥感模型研究. *红外与毫米波学报*), 2004, 23(1): 11—15.
- [7] YIN Qiu, SU Xiao-Zhou, XU Zhao-An, et al. Analysis on the ultra-spectral characteristics of water environmental parameters about Lake [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (尹球, 疏小舟, 徐兆安, 等. 湖泊水环境指标的超光谱响应特征分析. *红外与毫米波学报*), 2004, 23(6): 427—430.
- [8] WANG Jin-Nian, ZHANG Bing, LIU Jian-Gui, et al. Hyperspectral data mining-toward target recognition and classification [J]. *Journal of Image and Graphics* (王晋年, 张兵, 刘建贵, 等. 以地物识别和分类为目标的高光谱数据挖掘. *中国图形图像学报*), 1999, 11(4): 957—964.
- [9] LI Jin-Zong. *Introduction to Pattern Recognition* [M]. Beijing: Higher education press (李金宗. 模式识别导论. 北京: 高等教育出版社), 1994, 7