

基于光谱分类的干涉光谱图像压缩

吕群波^{1,2} 相里斌¹

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要 针对干涉成像光谱仪所成图像的特点, 将分类算法运用于干涉图数据压缩. 针对单一和复杂两类目标, 采用不同的处理方法, 得到了较好的压缩效果.

关键词 干涉图; 光谱图; 图像压缩; 分类算法

中图分类号 TP731 文献标识码 A

0 引言

自成像光谱仪出现以后, 在空间遥感、军事侦察以及工业和农业领域得到广泛应用. 目前的成像光谱仪主要有三种类型: 色散型、干涉型和计算层析型^[1]. 其中, 干涉成像光谱仪也称 Fourier 变换成像光谱仪^[2]. 干涉成像光谱仪与其它成像光谱仪一样, 在获得目标空间信息的同时, 还获得目标的光谱信息, 与传统的成像仪器相比, 收集的数据量增加, 为减轻其对传输和存储设备的压力, 必须对干涉成像光谱仪所收集的数据进行压缩. 本文提出了一种基于光谱分类的干涉光谱图像压缩方法.

1 干涉光谱仪成像特点

与传统的色散型成像光谱仪不同, 干涉成像光谱仪首先是通过干涉仪产生干涉图, 然后利用傅里叶变换数值计算得到复原光谱图(如图 1). 这一关系可表述成如下形式(略去常数)

$$B(v) = \int_0^L I(x) \cos(2\pi vx) dx \quad (1)$$

式中, v 为波数, x 为光程差, L 为最大光程差.

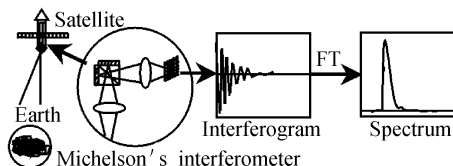


图 1 干涉图到光谱图变换示意图

Fig. 1 Scheme of converting interferogram to spectrum

由干涉成像光谱仪得到的同一类目标的所有干涉图, 经归一化处理以后, 在不存在各种噪声影响的情况下, 它们之间的差异非常小, 因此可以用这一类干涉图的平均值代表所有的干涉图.

实际中, 由于噪声的存在, 使得同类目标的干涉图在高频处有较大的差异, 设不存在噪声影响时的干涉图记为 $I_p(x)$, 存在噪声影响时的干涉图记为

$I_N(x)$, 各种噪声统一记为 $E_N(x)$, 则 $I_p(x)$ 、 $I_N(x)$ 和 $E_N(x)$ 之间存在以下关系

$$I_N(x) = I_p(x) + E_N(x) \quad (2)$$

设对同一类目标成像, 得到 M 条干涉图, 则对于每一条干涉图, 有

$$I_{N1}(x) = I_{p1}(x) + E_{N1}(x)$$

$$I_{NM}(x) = I_{pM}(x) + E_{NM}(x)$$

对所有的 M 条干涉图取平均值, 令 $I_{pav}(x)$ 、 $I_{Nav}(x)$ 、 $E_{Nav}(x)$ 分别为 $\{I_{pi}(x), i = 1, 2, \dots, M\}$ 、 $\{I_{Ni}(x), i = 1, 2, \dots, M\}$ 和 $\{E_{Ni}(x), i = 1, 2, \dots, M\}$ 的平均值, 则有

$$I_{Nav}(x) = I_{pav}(x) + E_{Nav}(x) \quad (3)$$

对于 $\{I_{pi}, i = 1, 2, \dots, M\}$, 由于是同一类目标, 因此其中的每一 $I_{pi}(x)$ 完全可以用 $I_{pav}(x)$ 来代替. 希望噪声 $E_{Nav}(x)$ 尽量的小, 从而使所得到的 $I_{pav}(x)$ 与 $I_{Nav}(x)$ 尽量接近. 根据分析可以知道, 在所有的噪声中, 白噪声的影响最大, 其它噪声影响可以忽略. 对于白噪声, 其平均值趋近于零, 因此 $I_{pav}(x)$ 接近于 $I_{Nav}(x)$, 对同一类目标, 可以使用平均值来代替所有的干涉图, 而不会对傅里叶变换后的光谱图产生大的影响.

2 光谱数据压缩方法

对于由色散型光谱仪得到的光谱数据, 由于同一波段内的像素之间(空间维)以及不同波段内同一位置像素之间(光谱维)都存在很高的相关性, 因此可以通过去除相关性达到数据压缩的目的. 通常采用的方法主要有以下几种: 预测编码、算术编码、正交变换编码、矢量量化、主成份分析、小波变换等方法.

由于干涉成像光谱仪获取的是干涉图, 因此, 要利用光谱维的相关性进行数据压缩, 必须对干涉图数据进行傅里叶变换. 这既耗费时间, 又增加了运算量, 在空间遥感应用中是不可取的. 如果不进行

傅里叶变换,由于干涉图与光谱图之间不存在一一对应关系,就不可能利用光谱维的相关性来进行数据压缩,这使得利用空间维相关性和光谱维相关性压缩数据的算法的压缩率显著降低.为了提高压缩率,必须针对干涉图数据,寻找合适的压缩方法.

3 分类压缩方法

所谓的分类压缩方法,就是将分类方法与数据压缩方法结合起来,实现数据压缩的目的.分类压缩方法的基本步骤如下:

- 1) 对得到的干涉图进行归一化处理.
- 2) 对归一化的干涉图进行分类,设分为 m ($m \geq 2$) 类.
- 3) 对每一类干涉图取平均值,记为 I_{avn} , $n = 1, 2, \dots, m$.

接下来分两种情况进行:

1) 在分类比较精确而且目标比较单一(比如大片沙漠)的情况下可以用 I_{avn} , $n = 1, 2, \dots, m$, 来代替每一类中的所有数据,从而减少传输的数据量.

2) 在目标复杂的情况下,由于存在光谱混叠,分类不是很精确,同时分类数目较多,因此不能应用目标单一时的处理方法.此时,可以求取每一类干涉图中第 i 条干涉图相对与 I_{avn} 的残差 R_{in} , $n = 1, 2, \dots, m$, 然后对所得到的残差 R_{in} 进行量化编码,从而达到压缩的目的.

下面分别对所使用的分类和压缩方法进行简单描述.

3.1 分类算法

对于目标上的任意像素点所对应的 N 点干涉图像,可以将其看作是一个 N 维向量^[3]. 由此,目标上不同的像素点对应不同的 N 维向量,通过两个向量之间的夹角来确定它们之间的相关性.这就是通常所说的夹角余弦方法^[4]. 对于两个 N 维向量 I_p , I_q , 通过下式确定它们是否属于同一类别

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{k=1}^N I_p(k) I_q(k)}{(\sum_{k=1}^N I_p^2(k))^{1/2} \cdot (\sum_{k=1}^N I_q^2(k))^{1/2}} \right] \quad (4)$$

经验证^[3], 利用 N 维向量的前 l ($l \leq 10$) 个点, 就可以确定向量间的相关性, 从而可以极大地减少运算量.

3.2 量化编码

对于残差 R_{in} , 假定其服从高斯分布^[3], 图 2 为某一残差直方图. 利用 Max 和 Lloyd^[5,6] 研究的最优化算法进行量化编码, 达到数据压缩的目的.

在量化时, 首先要确定高斯分布的均值和方差, 这可以通过计算残差 R_{in} 的均值和方差得到.

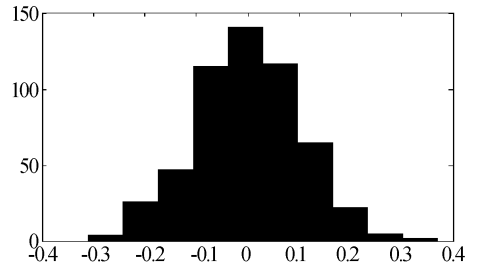


图 2 残差分布

Fig. 2 Residual error distribution

4 失真度量

通常最终用户关心的是压缩前后复原光谱的差异, 虽然度量方法很多, 但是到目前为止, 仍然没有统一的度量标准. 在此我们引入相对光谱二次误差 (RQE) 的概念^[3], 用以度量压缩前后复原光谱相对于压缩前复原光谱的失真程度. 对于压缩前后干涉图间的差异, 并不是最终用户关心的重点, 因此我们采用均方根误差来度量.

5 压缩仿真结果

对目标单一和目标复杂两种情况分别进行压缩仿真, 仿真中所采用的干涉图皆来自于空间调制干涉成像光谱仪获得的数据.

1) 目标单一情况

对于目标比较单一的情况, 用平均干涉图代替每一类的所有干涉图, 压缩比是非常高的 (高于 10:1), 对此方法进行如下仿真: 首先将成像光谱仪获得的干涉图进行滤波处理, 作为仿真用的原始干涉图, 然后在其上叠加噪声后, 生成 1000 条有噪声的干涉图, 模拟干涉成像光谱仪得到的单一目标数据, 仿真结果如图 3、图 4 所示, 可以看出, 平均干涉图与原始干涉图基本上是一致的, 其均方根误差为 0.16%. 对应的复原光谱之间的相对光谱二次误差 (RQE) 为 0.11%.

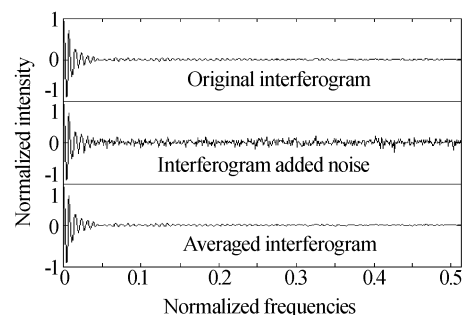


图 3 同类目标压缩方法仿真

Fig. 3 Compression method simulation of the same objects

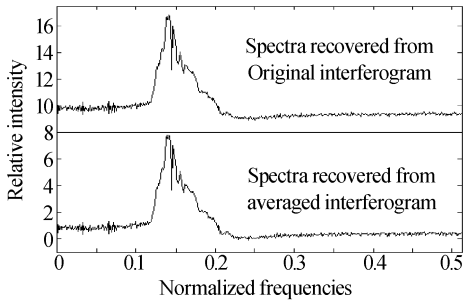


图4 同类目标压缩方法中干涉图的复原光谱

Fig. 4 Recovering spectra of the compression method to the same objects

2) 目标复杂的情况

对于复杂目标数据的压缩,图5、图7给出了压缩比为2.73:1和3.5:1情况下的原始干涉图和压缩重建后的干涉图,对应的均方根误差分别为0.16%和0.19%。图6、图8分别为压缩比为2.73:1和3.5:1

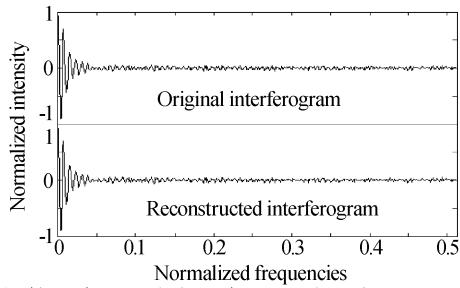


图5 原始干涉图和重建干涉图(压缩比为2.73:1)

Fig. 5 Original and reconstructed interferogram ($CR=2.73:1$)

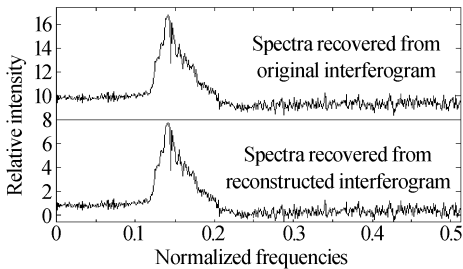


图6 图5中干涉图的复原光谱(压缩比为2.73:1)

Fig. 6 Recovering spectra of the interferogram in Fig. 5 ($CR=2.73:1$)

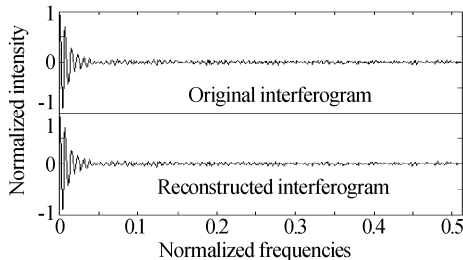


图7 原始干涉图和重建干涉图(压缩比为3.5:1)

Fig. 7 Original and reconstructed interferogram ($CR=3.5:1$)

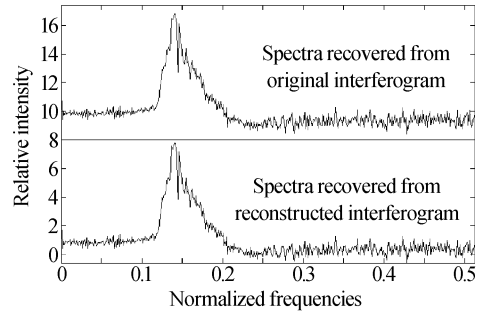


图8 图7中干涉图的复原光谱(压缩比为3.5:1)

Fig. 8 Recovering spectra of the interferogram in Fig. 7 ($CR=3.5:1$)

情况下对应的复原光谱图,其相对光谱二次误差(RQE)分别为0.13%和0.23%。

6 结论

由压缩结果可以看出,对于目标比较单一的情况,在求取平均干涉图的同时,也对干涉图进行了滤波处理,从而滤除了噪声对光谱的影响。对于目标比较复杂的情况,如果使用目标单一情况下的处理方法,就必须对目标进行精确的分类,这可能会引来其它的一些问题,比如需要较长的分类时间,需要选定较好的分类阈值等,同时如果分类数较多,不但不会提高,反而会降低压缩比,因此,在保证较好分类的情况下,采用量化编码的方法,得到较好的压缩结果。

参考文献

- 董瑛,相里斌,赵葆常. 大孔径静态干涉成像光谱仪的干涉系统分析. *光学学报*, 2001, **21**(3): 330 ~ 334
Dong Y, Xiangli B, Zhao B C. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(3): 330 ~ 334
- Inoue T, Itoh K, Ichioka Y. Fourier transform spectral imaging near the image plane. *Optics Letters*, 1991, **16**(12): 934 ~ 936
- Mailhes C, Vermande P, Castanie F. Spectral image compression. *J Optics (Paris)*, 1990, **21**(3): 121 ~ 132
- 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用. 北京: 高等教育出版社, 2000
Pu R L, Gong P. *Hyperspectral Remote Sensing and Its Applications*. Beijing: Higher Education Press, 2000
- Max J. Quantizing for the minimum distortion. *IRE Trans Inform Theory*, **IT-6**: 7 ~ 12
- <http://www.s2.chalmers.se/undergraduate/course0001/eit0.../Designcriteriaoptim-al.htm>

Interference Spectral Image Compress Based on Classification Algorithm

Lü Qunbo^{1,2}, Xiangli Bin¹

1 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

Received date:2003-06-19

Abstract According to the characters of the images acquired by interference imaging spectrographs, classification algorithm is introduced to compress interferogram data. Different processes are used to simple and complex objects, and the results are satisfactory.

Keywords Interferogram; Spectral image; Image compression; Classification algorithm



Lü Qunbo was born in 1979. He received his B. S. degree from Xidian University in 2001. In the same year, he was a graduate in the Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics (XIOPM), CAS. In 2003, he earned a chance to pursue his D. S. degree. His research focuses on spectral imaging technology and signal processing.