

# 基于轮廓纹理分解的三维谱象数据压缩<sup>\*</sup>

钱神恩 李桂菊 刘伟奇

(中国科学院长春光学精密机械研究所应用光学国家重点实验室 长春 130022)

**摘要** 本文介绍了一种基于轮廓纹理分解的三维谱象数据压缩方法。根据成像光谱仪三维谱象数据的特点,首先用轮廓纹理方法将其中二维单色图象分解成一系列轮廓及其包围的纹理。由于成像光谱仪三维谱象数据是同一地面景物沿波长方向展开的一叠单色图象,同一地面景物反映在不同波长的单色图的轮廓相同,但纹理不同。只需对其中某一单色图的轮廓编码即可。而各单色图因波长变化而引起的纹理变化只需对相应的多项式系数编码即可。采用本文的方法对用我国自行研制的64波段航空机载成像光谱仪在澳大利亚达尔文地区试飞获得的三维谱象数据实验,当纹理系数用零阶多项式表示时可获得379:1的压缩比。

**关键词:** 3D数据压缩,轮廓纹理分解,成像光谱

## 1 引言

成像光谱技术是新一代遥感技术,它能在获得目标空间影像信息的同时,获得每个象元的光谱信息,可对被测对象直接进行定性定量的物理分析和识别。由于多了一维光谱信息,结果测量数据比传统遥感增加1—2个数量级。以高分辨率成像光谱仪(HIRIS)<sup>[1]</sup>为例,当采用8bit量化时原始数据率达621MBPS。如此高的原始数据率

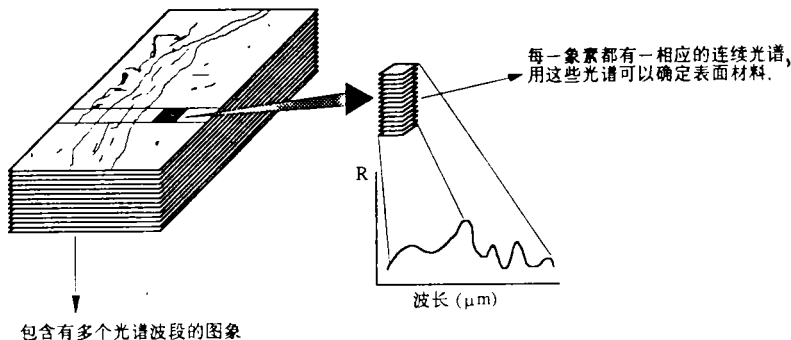


图1 成像光谱仪测量数据概念图

Fig.1 Conceptual image of imaging spectrometer

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目,批准号49171002.

收稿日期:1995年1月23日;收到修改稿日期:1995年6月12日

不仅使空间往地面的数据传输变得困难,而且给地面数据记录存储带来了巨大压力。图1是成象光谱仪测量数据概念图,对应一幅空间景象,有一叠不同波长的单色图象,对应空间景象中某一象元,是一条该象元所代表物质的光谱曲线。可以算出一幅  $512 \times 512$  象元空间景象,当光谱范围为  $0.4 - 2.5 \mu\text{m}$ , 光谱分辨率为  $10\text{nm}$  时,总的的数据量为:  $512 \times 512 \times (2.5 - 0.4) / 0.01 = 55\text{M}$  byte 记录存储一幅  $512 \times 512$  象元的成象光谱数据所需的存储量要比同尺寸的传统遥感图象高 210 倍,这不仅需耗用大量的存储容量,而使存储体硬设备投资大大增加,也给管理、检索这些数据带来不便。

由信息论知,成象光谱原始数据无论在二维空间方向,还是在一维光谱方向上都存在很大的冗余度,降低或消除这些冗余度,就可减少数据量。数据压缩是解决这个问题的有效途径。本文介绍一种基于轮廓纹理分解的三维谱象数据压缩方法。图象轮廓纹理方法是将原始图象分为轮廓和纹理两个分量分别压缩,这样能较好地保存了对人眼十分重要的边缘轮廓信息,因此,在压缩比达到很高时,恢复图象质量仍然很好。由图 1 所示的成象光谱三维谱象数据立方体可见,它是沿光谱方向展开的一叠单色图象,对应某一空间目标,各单色图的轮廓是相同的,我们只要对某一幅单色图用轮廓纹理方法进行压缩,然后再沿光谱维方向对相同轮廓的光谱曲线进行压缩就能达到三维压缩的目的。

## 2 轮廓纹理方法压缩

轮廓纹理方法的图象压缩分为图象分割、图象编码两部分,下面分别叙述。

### 2.1 图象分割

图象分割的目的是将图象适当地分割成待编码的轮廓分量和纹理分量。我们采用基于分区模式检测的图象分割方法<sup>[2]</sup>,该方法选择一个  $2 \times 2$  窗口,对窗口内象素根据下式将其分为 12 种模式,为每一个象素分配标号。

$$|MAXG - MING| < T1 \quad (1)$$

其中:  $MAXG$  为窗口内最大灰度值,  $MING$  为窗口内最小灰度值,  $T1$  为门限值。窗口按从左到右,从上到下的顺序半重叠移动。由于采用两方向重叠窗口,就使得窗口内有 3 个象素已经分配了标号(边界点有两个或一个象素分配了标号),这样已分配的标号与当前分割模式检测结果有可能相矛盾,需要进行聚合处理。下式为聚合处理准则:

$$|\mu(k1) - \mu(k2)| < T2 \quad (2)$$

其中,  $\mu(k1)$ 、 $\mu(k2)$  分别为区域  $K1$ 、 $K2$  的平均灰度,  $T2$  为聚合门限。当两区域的平均灰度之差小于  $T2$  时合并为一个区域,否则不变。

在图象分割中,当待分割图象包含丰富的细节时,分割结果产生了许多小区域,这些小区域使得编码的数据增多,十分不利于系统压缩比的提高。为此我们设置了一个门限  $T3$ ,对区域内象元数不超过  $T3$  的小区域,按下式将其合并到灰度最接近的相邻区域之中。

若  $N(Km) \leq T3$ , 且对任何  $Ki \in k$ , 式

$$|\mu(km) - \mu(kn)| \leq |\mu(km) - \mu(ki)| \quad (3)$$

成立,则将小区域  $Km$  合并至区域  $Kn$ 。其中:  $\mu(ki)$  为区域  $Ki$  的灰度均值,  $Km$  为待

合并的小区域， $N(Km)$ 为区域 $Km$ 内象元数， $K$ 为所有与 $Km$ 相邻的区域集合 $Kn \in k$ 。

### 2.2 图象编码

#### 2.2.1 轮廓编码

链码和多边形逼近是常用的两种轮廓编码方法。链码的特点是实现简单，恢复误差小；而多边形逼近则具有

压缩能力强，恢复曲线光滑的特点，不足的是其实现相当复杂。本文采用了一种链码和多边形逼近相结合的广义链码方法<sup>[3]</sup>，该方法的特点是对平滑轮廓段，采用较长直线进行近似，以提高压缩效率。对方向变化快的轮廓段，采用较短的直线近似，使大曲率或拐角处编码误差小。解决了压缩能力与实现复杂性之间的矛盾。

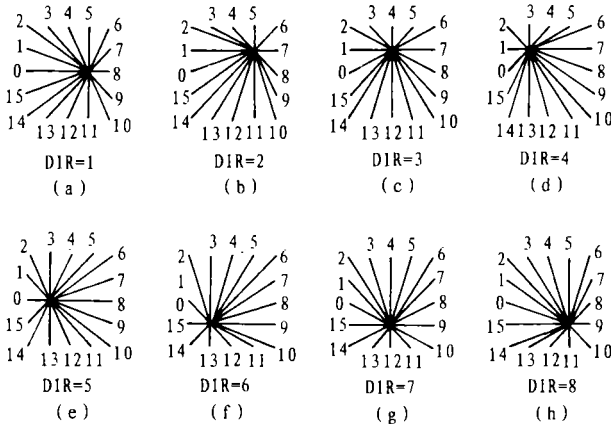


图 2 8 种编码区域  
Fig.2 Eight coding modes

图 2 所示为该方法的 8 种编码区域，其中交叉点为目前编码象元，16 根线段组成轮廓逼近码元，每个码用四比特表示，每次编码采用一个区域，其选取由当前编码值和前一区域标号按轮廓方向相关程度的概率确定。

#### 2.2.2 纹理压缩

纹理是指灰度变化平缓的分割区域。因为分割区域中灰度不存在突变，因而纹理分量编码可采用低阶多项式近似，从而达到大幅度压缩的目的。为了简化计算，本文仅采用零阶多项式逼近来编码纹理分量。高阶多项式逼近原理与零阶相同，只是相差多项式的系数。

轮廓纹理编码方法的恢复就是这种编码方法的逆过程，在此不再赘述。

### 3 光谱维的压缩

由于成象光谱仪在获得目标空间影象信息的同时，还获得每个象元的光谱信息。因此，对应一幅空间景象，有一叠不同波长的单色图象。对应空间景象中某一象元，是一条该象元所代表物质的光谱曲线。对一个实际景象的各个单色图象，其轮廓信息相同，纹理信息不同。对应某一个物体轮廓(如河流或山脉的轮廓)相当于有一个柱体插在这一串单色图象中，柱体的各横截面形状相同，而灰度值不同。我们在光谱方向上的编码正是利用了这一特点，即先对一幅单色图象进行上述轮廓纹理信息编码，再将其它单色

图象的纹理信息用“基础比特 + 溢出比特”编码方法<sup>[4]</sup>进行压缩。

### 3.1 “基础比特 + 溢出比特”编码方法

霍夫曼 (Huffman) 码公认是统计意义上最佳的无损编码, 但它需要预先知道被编码数据的统计特性, 算法相当复杂。而“基础比特 + 溢出比特”方法与霍夫曼码效果相当, 但无需被编码数据的统计特性, 且又易于快速实现。这种方法的编码结果由固定码长为  $L_b$  的基础比特和可变码长的溢出比特  $L_o$  两部分组成。 $L_b$  称为基础比特长度, 是这种编码方法的唯一参数, 由被编码数据的平均值  $\mu$  决定。 $\mu$  越大, 基础比特长度  $L_b$  就越大。为减少被编码数据的平均值  $\mu$ , 我们用被编码数据相邻值的差来代替原数据, 这样就产生了负值, 还需增加 1 位符号位。选择适宜的  $L_b$  使得大部分待编码数据只需用  $L_b$  位基础比特就可以编码表示, 无需溢出比特, 即  $L_o=0$ 。而少部分数值大于  $2^{L_b}$  的待编码数据, 用基础比特和溢出比特两部分共同表示。溢出比特用“1”表示, 每一位溢出比特代表  $2^{L_b}$ 。待编码数据大于等于多少倍  $2^{L_b}$ , 就有多少位溢出比特“1”。由于溢出比特长度  $L_o$  是随机的, 随待编码数据数值大小而变。为了识别随机长度溢出比特位结束, 还需加入一位“0”作为溢出比特位结束逗号。这种方法编码后的字长为  $L_b+L_o+2$ 。由于大多数情况下  $L_o=0$ , 只要  $L_b+2$  位即可, 少数情况才为  $L_b+L_o+2$ 。只要基础比特长度  $L_b$  远小于原量化字长, 就可获得很高的编码效率。

### 3.2 编码格式

每一个轮廓编码格式如下: 轮廓起始标志位, 轮廓起始座标( $x, y$ ), 该轮廓所包围区域的多项式系数, 该轮廓对应的各单色图象的多项式系数, 轮廓逼近码元 ( $CODE$ ), 编码区域标号 ( $DIR$ ),  $CODE, DIR, CODE, DIR, \dots$ 。

当前编码轮廓所对应的各单色图象的多项式系数用上面介绍的差值“基础比特 + 溢出比特”方法表示, 而  $CODE, DIR$  是由广义链码方法得到的轮廓编码。表 1 列出了 12 个区域相邻 4 个波段的零阶多项式系数, 表 2 给出了均值的差值, 由表 2 可见绝大多数系数都小于 15, 取  $L_b=3$ , 这样用 5 比特或 6 比特就可以编码表示。

表 1 相邻 4 个波段 12 区域的均值

Table 1 The mean value in neighbouring four bands's twelve regions

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	89	92	94	96	98	103	107	119	122	133	136	150
2	95	97	100	103	104	110	114	127	132	141	148	159
3	101	103	107	111	112	119	125	141	145	154	167	174
4	105	108	112	117	119	128	134	153	156	163	181	183

表 2 相邻 4 个波段 12 区域均值的差值

Table 2 The difference of the mean value in neighbouring four bands's twelve regions

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1—2	6	5	6	7	8	7	7	8	10	8	12	9
2—3	6	6	7	8	8	9	11	14	13	13	19	15
3—4	4	5	5	6	7	9	7	8	11	11	14	9

用这种方法,除了一幅单色图象纹理轮廓编码外,其它相同轮廓的各单色图象仅需用  $Lb+Lo+2$  bits,若成象光谱原始数据,有  $m$  幅单色图象,每幅单色图象有  $n$  个轮廓,则其它  $m-1$  幅单色图象编码仅用  $(m-1)n(Lb+Lo+2)$  bits. 采用本文介绍的方法可获得相当可观的压缩比,光谱通带数越多,压缩比越高。

#### 4 实验结果

本实验采用的原始数据是用我国自行研制的 64 波段航空机载成象光谱仪在澳大利亚达尔文地区试飞获得的三维谱象数据,原始三维谱象数据的空间景象为  $512 \times 1024$  象元,每一象元对应地面  $12 \times 12\text{m}^2$  的目标,光谱范围为  $0.45 - 2.5\mu\text{m}$ ,在可见区  $0.46 - 0.78 \mu\text{m}$  光谱分辨率为  $20\text{nm}$ ,共有 16 波段,红外区 48 波段,共计 64 波段。

本实验中只对我们目前得到的可见区 16 波段光谱进行压缩处理。

为方便起见,我们选取其中灰级较丰富的  $128 \times 128$  大小的区域进行纹理轮廓编码,图 3 给出了图象处理结果,其中 (a) 为原始图象, (b) 为其分割结果,  $T1=5$ ,  $T2=3$ , 它包括 1139 个区域, (c) 为区域合并后结果,合并门限  $T3=50$ ,合并后区域为 12, (d) 为 (c) 的边缘图象, (e) 为多边形链码编码结果, (f) 为零阶多项式逼近纹理恢复结果。

轮廓纹理编码的单色图象的压缩比:  $R=29$ , 此时均方根误差:

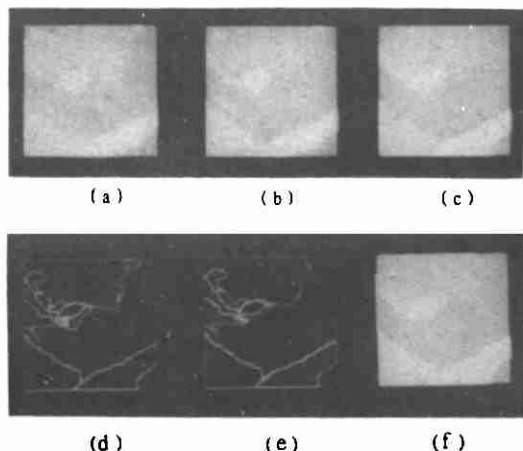


图 3 图象处理结果

Fig. 3 The results of image processing

- (a) 原始图象 (b) 分割结果 (c) 区域合并结果  
(d) 为 (c) 的边缘图象 (e) 多边形链码编码结果  
(f) 零阶多项式逼近纹理恢复结果

$$E_{msr} = \sqrt{\frac{1}{127^2} \sum_{i=0}^{127} \sum_{j=0}^{127} (p(i, j) - p'(i, j))^2} = 9.72$$

$p(i, j)$ ,  $p'(i, j)$  分别为编码前、后在  $(i, j)$  点处的灰度值。

峰值信噪比:

$$SNR = 10 \lg (255 * 255 / E_{msr}^2) = 28.37$$

16 波段恢复数据总的均方根误差:

$$E_{msr \text{ 总}} = \sum_{i=0}^{16} \sum_{j=0}^{127} \sum_{k=0}^{127} (p(i, j, k) - p'(i, j, k))^2 / (16 * 128 * 128) = 11.35$$

总的信噪比为:

$$SNR_{\text{总}} = 27.03$$

总的压缩比:

$$R_{\text{总}} = \frac{128 \times 128 \times 8 \times 16}{(128 \times 128 \times 8) / R + (m-1)n(Lb + Lo + 2)}$$

将  $R = 29$ ,  $m = 16$ ,  $n = 12$ ,  $Lb + Lo + 2 = 5.6$  代入上式, 可算出

$$R_{\text{总}} = 379.39$$

这个压缩比是相当可观的, 而且还会随着波段的增加而增加。应当指出, 这是用零阶多项式逼近的结果, 如用高阶多项式来逼近, 则压缩比会有所下降。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Mark Herring. Conceptual Design of the High-Resolution Imaging Spectrometer (HIRIS) for EOS, Proc. SPIE, 1986, 64 (4): 82 — 88.
- [ 2 ] M. Sukand, S. M. Chung. A new image segmentation technique based on partition mode test. PR., 1983, 16: 468 — 480.
- [ 3 ] 高亮, 蔡德钧, 万发贵. 图象的轮廓纹理编码. 电子学报, 1989, 17 (2): 59 — 64.
- [ 4 ] 钱神恩. 差值“基础比特 + 溢出比特”编码方法. 红外与毫米波学报, 1992, 11 (1), 61.

## Data Compression for 3D Spectrum- image Data Based on Contour-Texture Decomposition

Qian Shenan      Li Guiju      Liu Weiqi

(State key Laboratory of Applied Optics Changchun Institute of Optics & Fine Mechanics Chinese Academy of Sciences)

**Abstract** A method of data compression for 3D spectrum-image data based on contour-texture decomposition is described. According to the features of 3D spectrum-image data is produced by an imaging spectrometer. One of the 2D monochromatic images which constitute the 3D spectrumimage data is decomposed into a set of contours and the texture surrounded by their contours with contour-texture decomposition. It is the fact that 3D spectrum-image data are a pile of monochromatic images which extend along spectral direction, one scene on ground yields the same contour in each monochromatic image with the exception of texture. It is enough to encode the contours of one of the monochromatic images. For the texture variety, we encode the polynomial coefficients corresponding each monochromatic image. The experiment with the original 3D spectrum-image obtained by the 64 Bands Airborne Imaging Spectrometer developed by our country in the region Darwin, Australia shows that a compression ratio 379:1 can be achieved when the texture coefficients are expressed by a zero order polynomial.

**Key words** 3D data compression, Contour-texture decomposition, Imaging Spectroscopy