

多光谱图像数据压缩技术的发展与现状

王春胜

(吉林工业大学电子工程系, 长春 130025)

摘要 介绍了多光谱图像数据压缩技术的由来及目前的发展现状, 重点介绍了两种目前较为成熟的编码方案, 即变换编码(TC)和矢量量化编码(VQ), 并就目前的各种压缩方案进行了性能比较。

关键词: 多光谱图像; 数据压缩; 变换编码; 矢量量化

1 引言

成像光谱技术(Imaging Spectroscopy)是八十年代初出现的新一代遥感技术。高分辨率成像光谱仪(HRIS)是空间站计划中对地观测系统(EOS)中重要的对地观测仪器, 可取代以往多种空间遥感器。它与传统的遥感器的主要区别在于获得被测物体的空间影像信息的同时, 还获得了表征被测对象物理属性的光谱信息。可对被测对象进行定性、定量的物理分析, 所以在空间遥感技术、天文和军事等领域都有广阔的应用前景。

由于比传统遥感多了一维光谱信息, 在空间测量的原始数据率成量级地增加, 大大地超出了数据中继卫星和地面接收设备的下连接承受能力, 若原始数据率不降低到下连接设备能承受的水平, 空间测量数据将无法不丢失地传输到地面。

例如EOS系统中具有192谱段($0.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$)的HRIS将产生512 MB/s的数据, 而EOS系统的下连接信道的通信能力仅为300 MB/s, 而且还不能全部用于HRIS。因此, 对于HRIS产生的多光谱图像进行数据压缩是十分必要的。

2 多光谱图像与自然图像

多光谱图像与自然图像的区别在于它是一种三维图像。即在二维自然图像的基础上又多出一维光谱信息, 如图1所示。

我们知道,二维自然图像的相邻像素点之间具有很强的相关性,一般图像压缩技术致力于减少或完全消除这种相关性,使图像数据得到压缩,这种技术目前已制定了国际标准即JPEG(静止图像)标准和MPEG(运动图像)标准。

多光谱图像是对某个特定地物进行多谱段成像所得到的—组二维图像,其中每个谱段对应一幅二维图像。EOS系统中的HRIS具有192谱段,对应同一地物就会产生192幅二维图像,每幅二维图像的差异仅在于它们是处于不同的谱段,所以对于地物上的每一个像素点,在各个谱段对应的二维图像中的数值虽然有差异,但具有很强的相关性,这种相关性随着光谱分辨率的提高而加大。多光谱图像数据压缩技术不仅要去除二维图像中相邻像素点之间的相关性,又要去除同一像素点在不同谱段上的相关性。

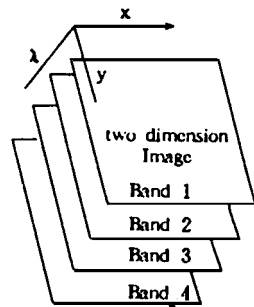


Fig. 1 Multispectral image set

3 多光谱图像数据压缩技术

多光谱图像数据压缩技术目前正由早期的采用单一编码方案向采用多种编码方案的混合方向发展。下面将具体介绍一下目前较为成熟的多光谱图像数据压缩编码方案。

3.1 变换编码

变换编码是利用整块子图像所有像素在灰度上的相关性,对变换系数进行编码,即它将原来空间域描写的图像信号,变换到另外一些正交矢量空间,变换域的基矢量(基本图像)与图像本身的主要特性很接近。那么,在这种正交矢量空间(变换域)中去描写这一图像信号比起原来的空间域中描写的会简单得多。图像信号变换到变换域后,其相关性明显下降,这样就能实现编码率的压缩。目前常用的变换编码技术有K-L(最优)变换、DCT(次优)变换、HT(哈尔)变换、Walsh(沃尔什)变换等。

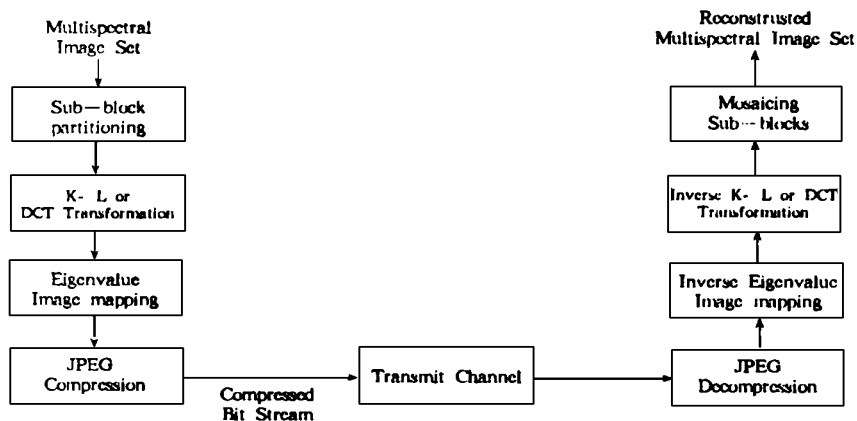


Fig. 2 Compression block diagram

在利用变换编码技术对三维多光谱图像数据进行压缩时,首先要对谱段方向的数据进行变换,去除其相关性,变换后每个谱段的二维图像就成为一种经过变换的特征图像,然后利用 JPEG 对二维特征图像进行压缩编码。

具体分为四个阶段,如图 2 所示

3.1.1 图像分割

为提高处理速度多光谱图像数据在进行压缩前,首先将数据分成无重叠的 $8 \times 8 \times 8$ 子块, JPEG 在进行静止图像压缩时也要求将二维图像分割成 8×8 的子图像。

3.1.2 谱段方向变换

采用变换方法去除谱段方向数据的相关性是当前多光谱图像数据压缩技术研究的重点问题之一。主要包括 K-L 变换和 DCT 变换。

(1) K-L 变换

如果要对 n 个谱段的图像进行去相关,我们需要构造一个 $n \times n$ 的 K-L 转换矩阵 T 。 T 由 n 阶谱段方向的协方差矩阵 C_v 的特征向量组成,那么正向变换为:

$$Z(X \cdot Y) = TV(x, y)$$

其中: $V(x, y) = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_n \end{bmatrix}$ 为谱段方向灰度矢量

$Z(x, y)$ 为变换后的特征值矢量

反变换为:

$$V(x, y) = T^{-1}Z(x, y)$$

谱段方向灰度矢量经 K-L 变换后可完全去除其相关性,但在变换时需计算信源的协方差矩阵及其特征根、特征根矢量。计算量较大。

(2) DCT 变换

离散余弦变换(DCT)是一种仅次于 K-L 变换的算法,其性能虽不如最优变换那么好,但它也能将信源的相关性去其十之八九,故称其为次优变换。

DCT 的正向变换为:

$$S(u) = \frac{C(u)}{2} \sum_{x=0}^7 S(x) \cos[(2x+1)u\pi/16]$$

逆向变换为:

$$S(x) = \sum_{u=0}^7 \frac{C_c(u)}{2} S(u) \cos[(2x+1)u\pi/16]$$

其中: 当 $u = 0$ 时, $C(u) = \frac{1}{\sqrt{2}}$

当 $u > 0$ 时, $C(u) = 1$

$S(x)$ 为一维抽样值(谱段方向灰度值)

$S(u)$ 为一维 DCT 系数。

DCT 变换性能虽然不如 K-L 变换,但它不要求已知信源的统计特性,计算量小,具有快速算法,并有专用 DSP 芯片,所以适用于实时处理的场合。

3.1.3 特征图像量化

多光谱图像中谱段方向的数据经过 K-L 或 DCT 变换后, 原来每个谱段的二维自然图像已变成一种由变换系数构成的特征图像, 这些特征图像的数据都是浮点数。为了下一步采用 JPEG 技术对特征图像进行编码, 必须将特征图像进行 8 bit、10 bit 或 12 bit 量化。目前有线性量化和非线性量化两种技术。

3.1.4 JPEG 编码

ISO 和 CCITT 在 1986 年底成立“联合图片专家组”(Joint Photographic Expert Group, JPEG), 研究静止图像压缩算法的国际标准, 于 1991 年 3 月提出 ISO CD 10918 号建议草案, 简称 JPEG 标准。

JPEG 标准适用于各种分辨率与格式的彩色和灰度图像。它的基本系统提供顺序扫描重建图像, 实现信息有损 (lossy) 的图像压缩, 图像主观质量能达到损伤难以觉察。它采用 8×8 分块 DCT 变换编码算法, 根据视觉特性设计的自适应量化器, 用霍夫曼码作变字长熵编码等。

利用 JPEG 完全可以对上述的二维特征图像进行压缩编码, 但需要对 JPEG 的 DCT 系数量化表 Q 进行修改, 因为 JPEG 标准所提供的 Q 表是根据人眼的视觉特性 (HVS) 设计的, 适合普通的自然图像。如果利用 JPEG 压缩特征图像就必须设计出符合特征图像特点的 Q 表。

3.2 矢量量化 (Vector Quantization, VQ)

矢量量化是将 K 个 ($K \geq 2$) 样值形成一个 K 维空间 R^K 中的一个矢量, 然后对此矢量一次进行量化, 只传输或存储矢量的地址, 因此能大大地降低数码率。矢量量化优于标量量化, 是因为矢量量化有效地利用了矢量中各分量间的四种相关性, 即线性依赖性、非线性依赖性、概率密度函数的形状和矢量维数来去除冗余度。矢量量化是标量量化的多维扩展。

根据仙农的率失真理论, 矢量量化具有很大的优越性, 其编码性能有可能接近率失真函数的理论极限, 其方法是增加矢量的维数 K 。矢量量化的另一个优点是解码非常简单, 只需作查表运算。矢量量化的工作原理如图 3 所示。其工作过程是: 在编码端, 输入矢量 X 与码书 I 中的码字进行比较, 分别计算出它们的失真, 搜索到失真最小的码字 Y_i 的序号 i , 并将 i 的编码信号通过信道传递到解码端; 在解码端, 先将此信号译成序号 i , 然后根据序号 i 从码书 II 中查出相应的码字 Y_i 。由于码书 I 与码书 II 完成一致, 故此时失真 D 最小, 所以 Y_i 就是输入矢量 X 的恢复矢量。

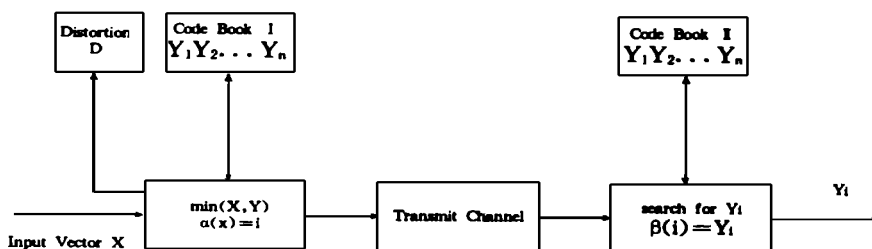


Fig 3 Vector quantization block diagram

矢量量化技术已广泛应用于多光谱图像数据压缩。主要有特征预测矢量量化 (Feature Predictive VQ, FPVQ) 和多级矢量量化 (Multistage VQ, MSVQ)

3.2.1 特征预测矢量量化 (FPVQ)

FPVQ 编码的工作原理如图 4 所示。输入矢量 X_1 代表谱段 1 的图像数据, 经过传统的矢量量化 E_1 产生量化值 \hat{X}_1 。经过查找码书 C_1 可得到地址 $I = E_1(X_1)$ 。利用 \hat{X}_1 可预测代表谱段 2 的量化矢量 \hat{X}_2 , 得到 $e = X_2 - \hat{X}_2$ 。如果 e 的能量大于门限 t , 则将 e 再由传统矢量量化 E_2 , 产生量化值 e , 查找码书 C_2 可得到地址 $J = E_2(e)$ 。如果 e 的能量小于或等于 t , 则不再量化和传输 e 值。 e 的能量大小完全由符号 S 表示。最后将 I, J, e 和 S 经传输信道传输到解码端。

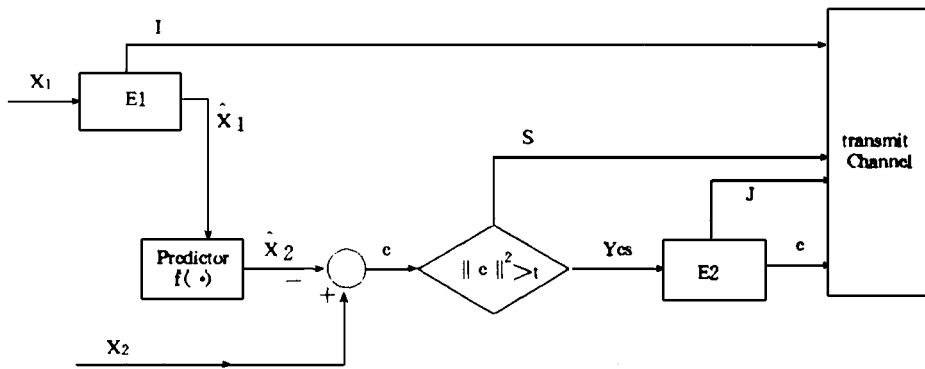


Fig 4 FPVQ encode

上述过程可由下式简明表示:

$$\begin{aligned}
 I &= E_1(X_1) \\
 \hat{X}_2 &= f(\hat{X}_1) \\
 e &= X_2 - \hat{X}_2 \\
 S &= \begin{cases} 1 & \|e\|^2 > t \\ 0 & \text{其它} \end{cases}
 \end{aligned}$$

如 $S = 1$ 则 $J = E_2(e)$ 。

对于多谱段的图像信息, 可根据数据的相关情况, 设定若干谱段进行量化, 量化后去预测其相邻谱段。整个系统中可有许多量化器、预测器并行工作。3.2.2 多级矢量量化 (MSVQ)

多级矢量量化器原理如图 5 所示。为了同时去除谱段方向和同一谱段相邻像素间的相关性, 首先将多光谱图像分成 $m \times m \times n$ 的子块, n 为谱段数, 则输入矢量

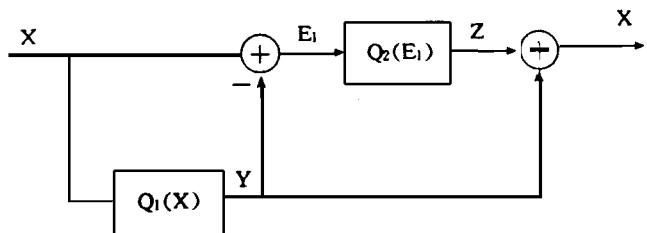


Fig 5 MSVQ with 2 stages

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$$

其中 X_i 表示第 i 谱段上子图像矢量。

首先将 X 输第一级量化器 Q_1 , 得到 $\hat{Y}_I = Q_1(X)$ 。然后将差值 $E_1 = X - \hat{Y}_I$ 输入第二级量化器 Q_2 , 得到 $Z_J = Q_2(E_1)$ 。在第一级量化器 Q_1 中, 采用码书 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$, 得到地址索引 I , 在第二级量化器 Q_2 中, 采用码书 $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$, 得到地址索引 J 。将 I, J 传输到解码端, 可恢复原输入矢量 X , 即 $X = \hat{Y}_I + Z_J$

3.3 其它编码技术

早期的多光谱图像数据压缩技术主要采用预测编码方案, 即 DPCM (脉冲编码调制) 技术和线性预测技术。预测编码可做到无失真 (lossless), 但压缩比很小。另外还有算术编码方案, 如利用希尔伯特扫描 (Hilbert Scanning) 算法同时去除谱段间和二维空间的相关性。

近几年出现的小波变换 (Wavelet Transform) 技术已广泛应用于图像数据压缩。在多光谱图像压缩中, 通常用小波变换处理由 K-L (或 DCT) 变换后形成的特征图像的压缩编码。此外, 还有报道将神经网络技术应用于多光谱图像数据的压缩过程中。

4 结 论

以上介绍了多光谱图像数据压缩技术的现状与发展。就目前的实用情况来看, 变换编码技术已进入了实用化的阶段。尤其是 DCT+JPEG 组合技术。因为目前已有 DCT 和 JPEG 的专用 DSP 芯片, 可用于实时处理的场合。压缩比可由准失真 (near-lossless) 的 5-10CR 达到人眼可接受的失真 (lossy) 40-100CR。KL T+JPEG 组合技术虽然能够达到比 DCT+JPEG 更好的压缩效果, 但由于 KL 变换要求已知信源的统计特性, 而且计算量很大, 没有快速算法, 难以实时处理。

矢量量化技术所取得的压缩效果优于变换编码技术, 对一般多光谱图像, 矢量量化技术的压缩比可达到 20-100CR (near-lossless), 但由于失真度与码书的大小成反比关系, 要想减低失真度, 就必须极大增加码书的容量。一个庞大的码书以及对其进行的查找对实时处理是不合适的。

综上所述, 将 DCT+JPEG 组合技术应用于多光谱图像数据的实时压缩处理是一种切实可行的方法。如果在压缩前采用其它一些自适应的图像处理技术如图像边缘的检测与分类技术, 对不同的图像子块进行不同的处理, 还会取得更好的压缩效果。

参 考 文 献

- [1] 许织新. 数据压缩. 北京: 国防工业出版社, 1990
- [2] 林奇 托马斯 J. 数据压缩技术及其应用. 北京: 人民邮电出版社, 1989
- [3] Pennebaker William B. JPEG 静止图像数据压缩标准. 北京: 学苑出版社, 1996
- [4] Saghri John A. Transform Coding for Multispectral Imagery. Proc SPIE 1994, 2298: 45~ 61
- [5] A bousleman Glen P. Hyperspectral Image Compression Using 3-D Discrete Cosine Transform and Entropy-

- Constrained Trellis Coded Quantization. Proc SPIE, 1994, **2331**: 136~ 147
- [6]Gupta S, Gersho A. Feature Predictive Vector Quantization of Multispectral Images. IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing. 1992, **30**: 491~ 501
- [7]Gupta S, Gersho A. Variable Rate Multistage Vector Quantization of Multispectral Imagery with Greedy Bit Allocation. Proc SPIE, 1993, **2094**: 890~ 901

Developments and Recent Trends in the Compression of Multispectral Imagery

Wang Chunsheng

(Electronic Department, Jilin University of Technology, Changchun 130025)

Abstract

In this paper, we introduced the reasons and recent trends in compression of Multispectral Imagery, and specially described two better coding schemes, i.e. Transform Coding (TC) and Vector Quantization (VQ), as well as compared the performances of the recent compression schemes.

Keywords: Multispectral image, Data compression, Transform code, Vector quantization

王春胜 男, 1986年毕业于吉林工业大学电子工程系。1991年于中科院长春光机所获工学硕士学位, 现为中国人民解放军农牧大学计算机教研室讲师, 并在吉林工业大学攻读通信与电子系统专业博士学位。