

# HRIS 中基于噪声特征的自适应迭代处理方法

王学良 黄廉卿

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘 要** 简要地分析了 HRIS 数据中噪声的频谱特征,并在此基础上提出了一种基于噪声频谱特征的自适应维纳滤波迭代处理方法,实验表明该噪声处理方法具有很强的自适应和噪声抑制能力,完全满足实际的需要。

**关键词** 成像光谱仪 维纳滤波 频谱特征 噪声 自适应 信噪比

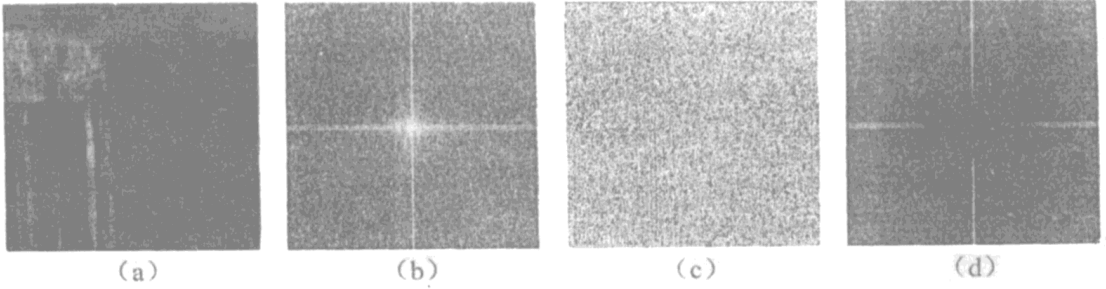
## 1 概 述

HRIS(High Resolution Imaging Spectrometer),即高分辨率成像光谱仪,是在多波段光谱仪的基础上发展起来的新一代遥感仪器,具有极高的光谱分辨率和地面空间分辨率,可以给出几乎连续的光谱图像,可大大提高地面目标的分析和解释的可靠性。但是,遥感仪器在遥感探测过程中,不可避免地受到各种噪声源的干扰,探测到的信号包含一定量的噪声信号,将影响对数据的解释以及对目标分析的结果。因此,在 HRIS 的数据处理中,噪声处理是十分必要和重要的。下面,首先对 HRIS 中噪声信号的频谱特征进行数学分析,并在此基础上,提出一种基于噪声频谱特征的自适应迭代噪声处理方法,并给出了一些具体的实验结果。

## 2 HRIS 信号的噪声特征

由于 HRIS 是通过对目标的反射光谱进行光谱分离后,对每个波段的光谱进行扫描记录,因而,HRIS 信号中的噪声信号具有高度的依赖于方向的特征,即在沿图像的扫描行(水平方向),噪声变化缓慢,几乎是一致的;而在图像列(垂直方向)上,噪声的变化迅速,甚至呈随机状态,产生这种特性噪声的原因在于某一波长图像的每行都是经相互独立扫描再堆积的结果,而噪声在垂直方向上变化相对迅速,正是由于图像的堆积过程而引起的,该过程相当于对原始噪

声进行采样,进而引入了高频噪声,该混叠噪声在频谱上表现为一个垂直方向的条带通过图像的顶端和底端,并占据了图像频谱沿水平轴方向上较窄的频率范围。图 1 所示为 HRIS 的一个光谱通道的原始图像、估计噪声图像以及二者的频谱,可以充分说明 HRIS 图像信号的噪声特征。



(a) original image; (b) spectrum of original image; (c) estimated noise signal; (d) spectrum of noise signal

Fig. 1 HRIS image and signal spectra

现假设噪声  $n(t)$  的傅立叶变换为  $N(w)$ , 则二维噪声  $n(x_1, x_2)$  可表示为:

$$n(x_1, x_2) = n(x_1 + Mx_2)w(x_1, x_2) \quad (1)$$

这里  $w(x_1, x_2)$  是矩形窗口函数, 定义为:

$$w(x_1, x_2) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x_1 \leq M; 0 \leq x_2 \leq N \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

$M$  和  $N$  分别代表图像的高度和宽度。 $w(x_1, x_2)$  的傅立叶变换可以用二维 sinc 函数  $W(w_1, w_2)$  表示, 则图像的二维傅立叶谱  $N(w_1, w_2)$  可以表示如下:

$$\begin{aligned} N(w_1, w_2) &= F\{n(x_1 + Mx_2)w(x_1, x_2)\} \\ &= \frac{1}{4\pi^2} F\{w(x_1, x_2)\} * F\{n(x_1 + Mx_2)\} \\ &= \frac{1}{4\pi^2} W(w_1, w_2) * \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} n(x_1 + Mx_2) e^{-j(w_1x_1 + w_2x_2)} dx_1 dx_2 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

利用傅立叶变换的平移和放大特性, 来估计对  $x_2$  的积分, 可以得到连续图像的谱:

$$\begin{aligned} N(w_1, w_2) &= \frac{1}{4\pi} W(w_1, w_2) * \left[ N\left(\frac{w_2}{M}\right) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j(w_1 + w_2/M)x_1} dx_1 \right] \\ &= \frac{1}{4\pi} W(w_1, w_2) * \left[ \frac{1}{M} N(w_2/M) \cdot \delta(w_1 - w_2/M) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

由(4)式中,  $\left[ \frac{1}{M} N(w_2/M) \cdot \delta(w_1 - w_2/M) \right]$  项, 使谱在二维傅立叶空间  $w_1 = \frac{w_2}{M}$  处, 得到了扩展。

对  $n(x_1, x_2)$  在水平和垂直方向上, 进行频率为  $\frac{2\pi}{T}$  的抽样, 根据采样定理, 则采样的噪声图像的谱可表示为:

$$N_s(w_1, w_2) = \sum_{k, m=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{4\pi MT^2} W\left(w_1 - \frac{2\pi k}{T}, w_2 - \frac{2\pi m}{T}\right) * \left[ N\left(\frac{w_2}{M}\right) \delta\left(w_1 - \frac{w_2}{M}\right) \right] \quad (5)$$

进而有:

$$N_s(w_1, w_2) = \sum_{k, m=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{4\pi MT^2} \int_{-\infty}^{+\infty} W(w_1 - \tau - \frac{2\pi k}{T}, w_2 - M\tau - \frac{2\pi m}{T}) N(\tau) d\tau \quad (6)$$

下面我们利用一个具体的信号, 来看以下噪声的特性。假设噪声只有单一频率成分组成, 设  $n(x_1, x_2) = \sin(x_1 + Mx_2)w_c$ ,  $N(w) = (\pi/j)(\delta(w-w_c) - \delta(w+w_c))$ , 有:

$$N_s(w_1, w_2) = \frac{1}{j4\pi MT^2} \sum_{k, m=-\infty}^{+\infty} W(w_1 \pm (w_c + \frac{2\pi k}{T}), w_2 \pm M(w_c + \frac{2\pi m}{T})) \quad (7)$$

通过以上的推导可以得出以下结论:

- (1) 图像采集过程中的堆积过程, 使噪声在信号频谱中得到了延伸, 降低了信号的信噪比。
- (2) 二维信号噪声的谱峰值频率  $w_1$ , 等于一维信号的峰值频率。
- (3) 在  $w_1$  方向上, 噪声的频率很低, 而噪声在  $w_2$  方向上由于  $M$  因子的存在, 使其频率很高, 噪声变化加快。

### 3 基于噪声特征的自适应迭代处理方法

基于上述噪声的特点, 一般的噪声处理已不能很好地满足实际的要求, 为此, 设计了参数式维纳滤波器, 来对图像中的噪声进行处理。

参数式维纳滤波器定义为:

$$S_0 = H_w S_i \quad (8)$$

其中,  $S_0$  为滤波器输出信号的傅立叶变换,  $S_i$  为输入信号的傅立叶变换,  $H_w$  为滤波器的传递函数, 定义为:

$$H_w = \frac{1}{1 + \gamma \frac{P_n}{P_s}} \quad (9)$$

式中,  $P_n$  为噪声功率谱的估计值,  $P_s$  为输入信号的功率谱值,  $\gamma$  为滤波器的平滑控制因子。

通过滤波器传递函数的定义可看到, 滤波器的噪声平滑能力与  $P_n/P_s$  的比值有直接关系,  $P_n/P_s$  反映着输入信号功率谱中每个点的噪声功率与信号功率的对比关系, 在噪声能量大而信号能量较小的频率点处, 达到极大值; 而在噪声能量小而信号能量大的频率点处, 该比值较小。由于滤波器的传递函数具有上述的特性, 因而, 滤波器对信号能量谱中噪声能量大而信号能量小的频率点能量, 具有很大的抑制作用; 相反, 对输入信号只进行较小的变化。因此, 该滤波器对噪声的处理具有自适应能力。

在我们设计的参数式维纳滤波器中, 关键在于  $P_n/P_s$  比例因子中的  $P_n$  与  $P_s$  的估计工作。在噪声功率  $P_n$  和信号功率  $P_s$  的估计中, 假设噪声信号只集中在中频和低频频段, 因此, 噪声的傅立叶变换  $S_n$  可通过(10)式获得, 即:

$$S_n(u, v) = \bar{S}_i(u, v) - \bar{S}_{ilp}(u, v) \quad (10)$$

其中  $\bar{S}_i$  和  $\bar{S}_{ilp}$  由(11)式计算得出, (11)式中的  $Q$  代表  $S_i$  或  $S_{ilp}$ , 而  $S_i$  和  $S_{ilp}$  分别代表低通滤波器的输入和输出信号,  $\bar{Q}$  代表  $\bar{S}_i$  或  $\bar{S}_{ilp}$ 。

$$\bar{Q}(u, v) = \frac{Q(u, v)}{\sqrt{\sum_u \sum_v Q(u, v) Q^*(u, v)}} \quad (11)$$

其中,  $(u, v)$  为二维离散傅立叶变换的频率坐标,  $Q^*(u, v)$  为  $Q(u, v)$  的共轭复数。

(10) 式傅立叶变换中的右边部分, 经过归一化处理的目的在于使得功率谱  $P$  满足:

$$\sum_u \sum_v P(u, v) = \sum_u \sum_v \bar{S}(u, v) \bar{S}^*(u, v) = 1 \quad (12)$$

为了获得  $S_{ilp}$ , 我们利用了一阶 Butterworth 滤波器, 来对输入信号进行滤波, 有:

$$S_{ilp} = S_i(u, v) H_{BW}(u, v) = \frac{S_i(u, v)}{1 + 0.414(D(u, v)/D_0)^2} \quad (13)$$

其中,  $D(u, v)$  为欧几里德距离, 定义为:

$$D(u, v) = \sqrt{(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2} \quad (14)$$

$(u_0, v_0)$  为傅立叶变换的零频率点, 对于中心快速傅立叶变换来说,  $(u_0, v_0)$  为  $(\frac{N}{2} + 1, \frac{N}{2} + 1)$ ,  $N \times N$  为图像的尺寸,  $(u, v)$  为二维傅立叶变换谱中的任意一点。

对于  $N \times N$  的图像来说,

$$D_0 = \frac{5}{128} \times N \quad (15)$$

在利用上述的 Butterworth 滤波器, 对输入信号进行处理后, 我们可以得到经滤波处理后的信号功率谱  $P_{ilp}$ , 进而可以得出  $P_n$ , 有:

$$P_n = S_n S_n^* \quad (16)$$

其中,  $S_n^*$  为  $S_n$  的共轭复数。

通过上述的滤波处理方法的介绍, 可以看到噪声功率  $P_n$  估计的准确性, 决定着滤波处理效果的好坏, 为了降低  $P_n$  估计对噪声处理的影响, 我们采用了迭代算法, 在该算法中, 将每次处理后得到的噪声功率, 作为下一次处理的噪声功率初始值, 再对图像信号进行处理, 进一步消除图像信号中的噪声, 提高图像的信噪比。为了对每次处理效果进行评价, 引入信噪比, 定义如下:

$$SNR = \sqrt{\sum_{(u, v) \in BW_n} \left| \frac{S_p(u, v)}{N_p(u, v)} \right|} \quad (17)$$

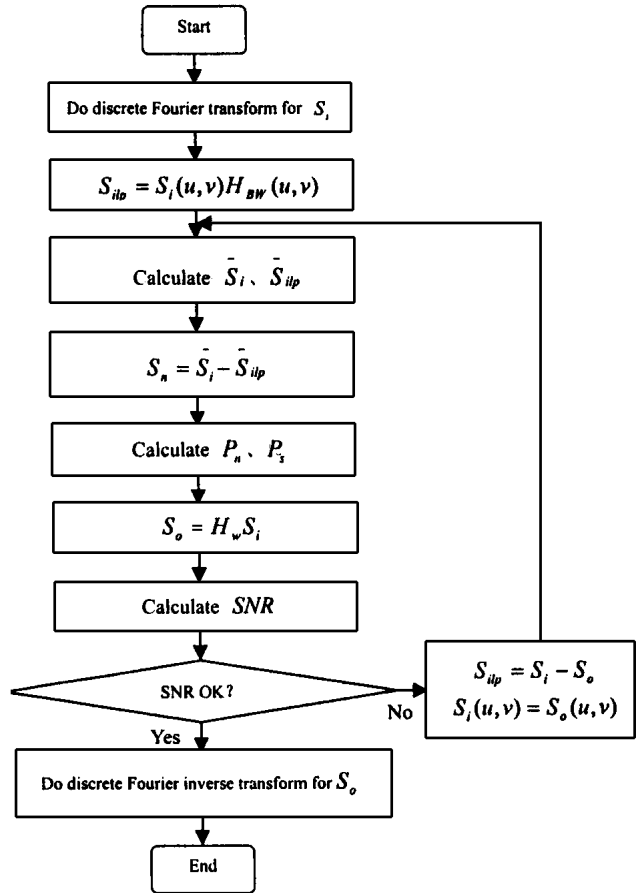


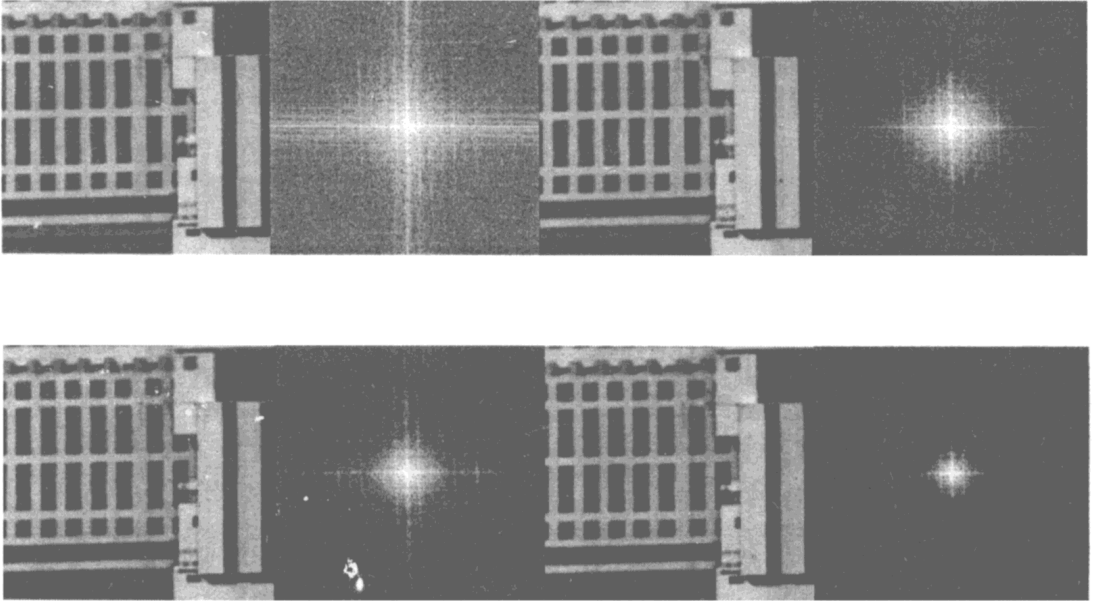
Fig. 2 The flow chart of adaptive Wiener filtering iterative processing algorithm

$S_p(u, v)$ 、 $N_p(u, v)$  分别为滤波器的输入信号功率和噪声输出功率。

为了更加清晰地说明噪声迭代处理方法,下面给出了算法流程图如图 2 所示。

## 4 实验结果及结论

我们利用上述的噪声滤除处理方法,对 HRIS 的原始图像数据进行了实验,图 3 是实验的部分结果数据及处理结果图像,通过实验表明,基于 HRIS 噪声信号频谱特征的自适应迭代处



- (a)、(b) The original image and spectrum, SNR= 10dB;  
 (c)、(d) The result image and spectrum after iterated five times, SNR= 15dB;  
 (e)、(f) The result image and spectrum after iterated ten times, SNR= 18dB;  
 (g)、(h) The result image and spectrum after iterated fifteen times, SNR= 24dB;

Fig. 3 The result of experiment

理方法,与传统的噪声处理方法比较而言,具有噪声滤除效果好,图像失真小的特点,完全可以达到实际应用的要求。

## 参 考 文 献

- 1 Chellappe R, Kashyp R L. Digital image restoration using spatial interaction model. IEEE Trans Acoust Speech, Signal Processing, 1982, 30(3):461472
- 2 Duadhia A. Noise characteristics of the AVHRR infrared channels. Int J Remote Sensing, 1989, 10: 645651
- 3 Warren D. AVHRR channel 3 noise and methods for its removal. Int J Remote Sensing, 1989, 10: 645651

- 4 Hummer Miller S. Techniques for noise removal and registration of TMS data. *Photogrammetric Eng and Remote Sensing*, 1990, 56(1): 4953

## An Adaptive Iterative Processing Method Based on Characteristics of Noise in HRIS

WANG Xue-Liang, HUANG Liang-Qing

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

### Abstract

This paper analyzes the spectrum characteristic of the noise in HRIS, and presents an adaptive Wiener filtering iterative processing method. Experiments proved that the method has an adaptive ability and a noise restraining ability, which meets the practical needs.

**Key words:** HRIS, Wiener filtering, Spectrum characteristic, Noise, Adaptive iteration, Signal noise ratio

王学良 男, 1969 年出生, 1992 年 7 月毕业于长春光学精密机械学院电子工程系, 1995 年攻读长春光学精密机械研究所硕士学位, 并于 1997 年提前攻读博士学位, 主要从事计算机图像处理方面的研究工作。