

推帚式航天遥感器 CCD 航向调制 传递函数的讨论

韩心志

(哈尔滨工业大学航天学院, 黑龙江, 哈尔滨, 150001)

摘要 从遥感器获取的数据质量观点出发,把遥感图像中几何质量和辐射质量两大质量指标与航向 MTF 结合起来,讨论了沿航向 CCD MTF 的选择与确定。

关键词 推帚式航天遥感器,电荷耦合器件(CCD),调制传递函数。

DISCUSSION ON CCD MODULATION TRANSFER FUNCTION OF THE PUSHBROOM SPACE REMOTE SENSOR ALONG TRACK

HAN Xin-Zhi

(Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjing 150001, China)

Abstract From the point of view of the data quality collected by remote sensors, the selection and determination of the CCD MTF along track are discussed by combining the geometric and radiometric quality of the image with the MTF along track.

Key words push-broom space-borne remote sensor, CCD, modulation transfer function.

引言

航天遥感器所获得的数据质量,包括几何质量和辐射质量两个方面。数据的几何质量取决于遥感器系统的调制传递函数(MTF)。MTF 含有决定遥感图像几何质量的两个基本要素,即图像的空间分辨率和对比度,表示遥感器再现景物图像的能力。

图像的几何质量直接影响到遥感器的目标识别和分类能力,所以一直是遥感器设计者所追求的目标。对于推帚式遥感器,其航向方向的 MTF,由于推帚作用而有较大幅度的降低,特别引起广大设计者的关心。有许多作者对于如何确定遥感器沿航向方向的 MTF 及其提高方案进行了讨论^[2~5],但这些讨论都未涉及图像的辐射质量。

遥感数据的辐射质量,反映遥感器对输入辐射能的响应特性。辐射质量和几何质量,从不同角度共同决定遥感图像的总质量。受物理学的基本定律限制,它们是互相制约的。因此,在确定 MTF 时,必须同时考虑对数据辐射质量的影响。良好地平衡它

们之间的关系,才能优化遥感器的设计。

遥感数据辐射质量所涉及的内容,是非常广泛和复杂的,本文的讨论只限于如何以辐射质量的观点来确定系统的 MTF。在文献[2~5]讨论推帚式遥感器沿航向的 MTF 的基础上,本文对这一问题作进一步的讨论和补充。

1 CCD 航向调制传递函数的表达式

当使用一长列线列方向垂直于卫星航向的 CCD 列阵沿卫星航向进行推帚式扫描时,CCD 在航向和线列方向上的工作状态是不相同的。由于 CCD 像元两个坐标轴方向上 MTF 的可分离性^[1],所以沿航向的 MTF 可以单独讨论。在航天遥感器中使用的 CCD 列阵,一般为正方形像元。在这种情况下,沿航向的 CCD MTF 要比沿线列方向的低。因此,讨论沿航向的 CCD MTF 具有重要的实用价值。

设地面景物沿航向方向的辐亮度分布为单频正弦光栅,其空间频率为 ω_1 ;沿线列方向,其辐亮度不变。

令卫星的飞行速度为 V ; T_I 为沿航向的 CCD 像元光积分时间; 则在 T_I 时间内, 卫星相对于地面景物的平移距离为推帚间隔

$$S = VT_I, \quad (1)$$

CCD 在航向方向上的抽样频率, 定义为

$$\nu_S = \frac{1}{S}. \quad (2)$$

如在航向上的扫描周期为 T_H , 则

$$T_H = T_I + T_T, \quad (3)$$

式(3)中 T_T 是光生电荷的转移时间.

定义推帚扫描效率

$$\eta = \frac{T_I}{T_H}. \quad (4)$$

设沿航向的 CCD 像元尺寸为 b , 定义

$$\xi = \frac{b}{V_I T_H}. \quad (5)$$

式(5)中 ξ 为推帚方向的采样系数. V_I 为 V 的相应像方量. 如果 $V_I T_H = b$, 即 $\xi = 1$, 则意味着对一个探测器像元采集一个样品.

在满足条件:

$$(1) \nu_0 < \frac{\nu_s}{2},$$

(2) 在输入信号中滤去高于 $\nu_s/2$ 的分量, 得出沿推帚方向 CCD MTF 的表达式为^[2-4]

$$MTF = \text{sinc}(\nu_0 b) \text{sinc}(\nu_0 \nu_I T_H) \text{sinc}(\nu_0 \nu_I T_I) \quad (6)$$

式(6)中的第一个因子表示 CCD 光敏元对景物的积分平均作用, 与抽样成像无关; 第二个因子是 CCD 对景物的平均(积分)抽样成像, 与抽样成像过程紧密相联; 第三个因子伴随着抽样成像过程产生, 与 CCD 输出脉冲具有一定宽度相关.

将式(4)和式(5)代入式(6), 得

$$MTF = \text{sinc}(\nu_0 b) \text{sinc}\left(\nu_0 \frac{b}{\xi}\right) \text{sinc}\left(\nu_0 \frac{\eta b}{\xi}\right). \quad (7)$$

式(7)把沿航向的 CCD MTF 和采样系数以及推帚扫描效率联系起来, 作为进一步讨论的基础.

2 分析和讨论

2.1 扫描效率 η

在航天遥感情况下, 卫星在一定轨道高度上飞行采集遥感数据, 卫星航速 V 视为一个常数. 在一般情况下, 一个瞬时视场采一个样品. 对于确定的瞬时视场 b , T_H 是一个不变量.

为了提高遥感数据的辐射质量, 力求提高式(3)中 T_I 在 T_H 中的比例, 把 T_T 压缩到最低限度. 实

际上, 在近代推帚式遥感器中, 已能以足够的近似程度认为 $T_I = T_H$, 即 $\eta = 1$.

$\eta = 1$, 意味着 $T_T = 0$, 即 CCD 输出脉冲的宽度为零. 在 T_I 时间内, 在 CCD 像元中不断地积累光生电荷, 而输出仅在相对说很短的 T_T 时间内进行.

基于上述情况, 式(7)可改写成

$$MTF = \text{sinc}^2(\nu_0 b) \quad (8)$$

式(8)说明, 由于在近代推帚式遥感器中, η 可以认为是 1, 于是推帚模式的航向 MTF 基本上与扫描效率无关. 这一结论已为大多数实用的遥感器设计预算采用.

2.2 采样系数 ξ

在一般情况下, 遥感器对每一瞬时视场采取一个样品, 即 $\xi = 1$. 为了提高沿航向的 MTF 值, 使 $\xi > 1$, 从而改善遥感图像的几何质量.

由式(5)可见, 提高 ξ 的值只能靠降低 T_H 的值来获得, 即对于一个瞬时视场 b 采集一个以上的样品. 例如, $\xi = n$, 则对一个瞬时视场采集 n 个样品. 此时, 样品的扫描周期

$$T_{HS} = \frac{T_H}{n}, \quad (9)$$

由于数据的最高读出速率受到限制, $T_I > 0$, 对样品的积分时间

$$T_{IS} < \frac{T_I}{n}. \quad (10)$$

在样品积分时间和沿航向的瞬时视场同时降低的双重因素作用下, 样品所接受的辐射能降低 n^2 倍. 相应地, 输出信噪比降低约 n 倍, 这往往会导致图像的辐射质量严重恶化.

3 结语

在推帚式遥感器中, 其航向方向的 MTF 因推帚作用而降低, 故所获得图像的几何质量, 即其空间分辨率和对比度亦随之下降. 加大采样系数, 即对于瞬时视场采集一个以上的样品, 是提高沿航向 MTF 的有效方法之一. 但是, 此种方法的运用是非常有限的. 因为这样会较大幅度地降低遥感器的输出信噪比, 严重损害遥感图像的辐射质量. 因此, 加大采样系数会受到严格的控制. 原因是辐射质量同样是图像质量一个极其重要的指标, 一直是研究人员所关心并要解决的问题.

有一种情况可以使用加大采样系数的方法, 即 CCD 像元处于近饱和状态. 这时, 首先使用较大的采样系数, 以改善沿航向的 MTF, 得到几何质量较

高而辐射质量较低的图像;然后通过数据处理,平滑所得的数据以恢复图像的辐射质量,而其几何质量重新降低到原来的水平.在这两次操作中,遥感数据用户可以获得两组不同空间分辨率和辐射分辨率的图像^[6].由于大多数遥感器都是针对特定的应用目的设计的,此种情况仅是特例.

此外,在使用采样系数时,不仅受辐射分辨率降低的限制,也受其本身规律的限制.随着采样系数加大,辐射分辨率急剧恶化,改善空间分辨率的效果也越来越差.文献[5]对 ξ 进行了讨论,认为 ξ 以 2 为宜,最大不超过 4.

REFERENCES

- [1] John C Feltz. Modulation transfer function of charge-coupled devices. *Applied optics*, 1990, 29(5)
- [2] ZHANG SHOU-YI, YING Zhong-Ren. MTF of the CCD imaging system in "push-broom" type *Chin. J. Infrared Res*(张守一,伊仲任. CCD"刷式"扫描成像系统的平均积分调制传递函数". *红外研究*), 1982, 1(1):45—52
- [3] YUAN Yun. The theoretical formula of MTF, for the linear CCD array in the push-broom mode. *Chin. J. Infrared Res.*(原芸. 线列 CCD"刷式"扫描时 MTF 的理论计算公式. *红外研究*), 1985, 4(1):25—28
- [4] ZHANG Shou-Yi, CHEN Ru-Jun. Redemonstration of the effect of overlapping scan coefficient on the increase in the resolution along track for push-broom camera. *Chin. J. Infrared Res.*(张守一,陈汝钧. 再论重迭扫描系数对提高 CCD 刷扫相飞行方向分辨率的影响. *红外研究*), 1986, 5(2):113—116
- [5] CHEN Yan-Xin, ZHANG Shou-Yi. Analyzing the MTF along track of the CCD push-broom camera and selecting the optimum overlapping sampling coefficient. *Chin. J. Infrared Res.*(湛炎新,张守一. CCD 刷扫相机飞行方向 MTF 分析与最佳重迭采样系数选取. *红外研究*), 1987, 6(6):401—406
- [6] HAN Xin-Zhi. *Space Remote Sensing CCD Push-broom Imaging System*. Harbin: Harbin Institute of Technology Press(韩心志. *航天遥感 CCD 推帚式成像系统*. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社), 1990, 44—45