

45°扫描镜阵列探测器的排放*

马红章¹,刘素美¹,顾松山²

(1.石油大学(华东)物理科学与技术学院,山东 东营 257061;

2.南京气象学院 电子工程系,江苏 南京 210044)

摘要:在45°镜多元并扫系统中,波段在焦平面的位置直接影响扫描结果。研究了45°镜多元并扫波段并扫探测器数、波段在焦平面的位置等参数对扫描结果的影响,分析了各参数的变化引起的图像畸变程度,给出了45°扫描镜阵列探测器排放的要求。

关键词:多元并扫; 像旋; 图像畸变

中图分类号:TP73 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2005)03-0277-04

Placement of the array detectors of 45° multi-parallel scanning*

MA Hong-zhang¹, Liu Su-mei¹, GU Song-shan²

(1.College of Applied Physics Science and Technology, the University of Petroleum,Dongying 25706,China;

2.Department of Electronic Engineering,Nanjing Institute of Meteorology,Nanjing 210044,China)

Abstract:In the system of 45° multi-parallel scanning,the position of the wave bands on the focal plane will effect the scanning result directly. The influence of the detector number of wave band and the position of the wave bands on the result is studied.The aberrance degree of scanning image aroused by the change of the parameter is analyzed.In the end,the demand of placing the detector is presented.

Key words:Multi-pixel parallel scanning; Image rotation; Image aberrance

0 引言

45°旋转扫描反射镜是一种应用最广泛的扫描模式,具有许多其他扫描方式不可代替的优点。与其他扫描方式相比,45°镜扫描总视场大,光学口径利用率高,光学稳定性好,镜面尺寸不受扫描角度影响,控制也相对容易^[1,2],但是其扫描效率偏低。解决扫描效率偏低问题的方案有两种:一是提高系统的扫描效率,二是采用多元并扫的方式,理论证明采用 N 元并扫可

以提高系统信噪比 \sqrt{N} 倍^[3]。系统扫描效率的提高是受一定限制的,而用多元并扫是提高扫描效率的关键。45°镜在扫描过程中会产生像面旋转现象,使得探测焦平面上不同位置探测器元的扫描轨迹不同,由于45°镜像旋的存在,实际应用中有两个方面的问题。首先,焦平面某一位置的波段并扫探测器数目的多少会造成扫描遥感图像的畸变程度的不同;其次,不同的波段分别处于焦平面不同的位置上,其他各自扫描的区域不同,造成的图像畸变程度也不同。不同波段扫描

收稿日期:2004-05-19; 修订日期:2004-07-20

* 基金项目:国家科技攻关计划(2001BA610A);国家自然科学基金资助项目(40275010)

作者简介:马红章(1979-),男,河北衡水人,硕士生,主要研究方向为遥感信息处理。

畸变程度的不同, 会给多波段图像的配准带来困难^[4]。本文主要研究波段并扫探测器元数目的改变及其在焦平面位置的变化给图像带来什么样的畸变、畸变程度如何等问题。

1 探测器元扫描轨迹

首先建立坐标系如图 1 所示, 以卫星飞行方向为 X 轴正方向, 指向水平地面方向为 -Z 方向, Y 方向符合右手定则。45° 旋转扫描镜绕 X 轴旋转扫描, 阵列探测器焦平面平行于 ZOY 平面。平面镜与 X 轴成 45° 角, 从探测器方向入射的矢量 \vec{A} 经 45° 镜反射之后变为矢量 \vec{B} , 则 \vec{A} 与 \vec{B} 之间存在如下关系:

$$\vec{B} = \mathbf{R}_\theta \vec{A} \quad (1)$$

式中 \mathbf{R}_θ 为 45° 镜绕 X 轴转动 θ 的反射作用矩阵,

$$\mathbf{R}_\theta = \begin{bmatrix} 0 & \sin\theta & -\cos\theta \\ \sin\theta & \cos^2\theta & \sin\theta\cos\theta \\ -\cos\theta & \sin\theta\cos\theta & \sin^2\theta \end{bmatrix}$$

公式(1)确定了 45° 镜绕 X 轴转过任意角度 θ 后, 入射矢量线和反射线之间的矩阵计算公式^[5]。

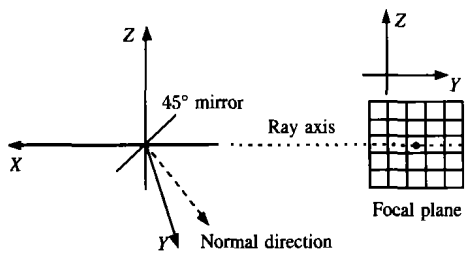


图 1 坐标系及波段探测器位置

Fig.1 Position of coordinate and wave band detector

因为阵列探测器固定, 那么考察随着扫描镜的转动, 各探测器通过旋镜在地面上成像的扫描轨迹。从探测器入射到旋镜的任意方向矢量 \vec{A} 可表示成 $\vec{A} =$

$$\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix}, \text{ 则由公式(1)可得反射向量 } \vec{B}:$$

$$\vec{B} = \begin{bmatrix} A_y \sin\theta - A_z \cos\theta \\ A_x \sin\theta + A_y \cos^2\theta + A_z \sin\theta\cos\theta \\ -A_x \cos\theta + A_y \sin\theta\cos\theta + A_z \sin^2\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据光学系统成像规律及空间坐标关系知 $B_z = H$, H 为探测器中心点到天底点正下方的距离, 即飞行平台离地面的高度。

$$A_x = f \quad (3)$$

$$A_y = -jd \quad (4)$$

$$A_z = -id \quad (5)$$

式中 f 为探测器透镜焦距; d 为探测器边长; j 和 i 分别为探测器距离焦平面中心的等效距离数。根据公式(2)~(5)可得:

$$B_x = \frac{HQ(i\cos\theta - j\sin\theta)}{\cos\theta + jQ\sin\theta\cos\theta + iQ\sin^2\theta} \quad (6)$$

$$B_y = \frac{HQ(\sin\theta/Q - j\cos^2\theta - i\sin\theta\cos\theta)}{\cos\theta + jQ\sin\theta\cos\theta + iQ\sin^2\theta} \quad (7)$$

式中 Q 为瞬时视场角^[6-8]。

2 波段并扫探测器数目的改变引起的畸变

卫星前进的过程中, 探测器通过扫描镜的旋转完成横向扫描。波段并扫探测器元数目越多, 则一次扫描的宽度就越大。虽然增加波段并扫探测器元数目可以提高扫描图像的信噪比, 但也会使图像畸变程度增大。如图 2 所示, 波段并扫探测器数目不同, 扫描条带的形状也不同。

图 3 模拟的是处于主光轴上的并扫探测器数目为 8 和 4 的波段扫描像旋畸变图像, 波段探测器数目越多, 扫描条带相接处扫描宽度相差就越大, 造成图像产生锯齿越严重, 导致图像中地面景物的不连续。

图 4 模拟计算的是航高 700 km, 瞬时视场为 0.001 rad 的两相邻扫描带相接处, 扫描幅宽差值的变化情况。波段并扫探测器数分别为 4、8、12、16 时, 计算扫描带相接处采样点 Y 坐标之差在不同扫描角下的大小。经计算, 波段并扫探测器数目越多, 则扫描带相接

处同一扫描角对应的两采样点 Y 坐标之差的绝对值越大。无论是改变波段偏离主光轴大小还是改变该波段 Z 方向的位置, 结果都没有明显变化。所以, 两扫描

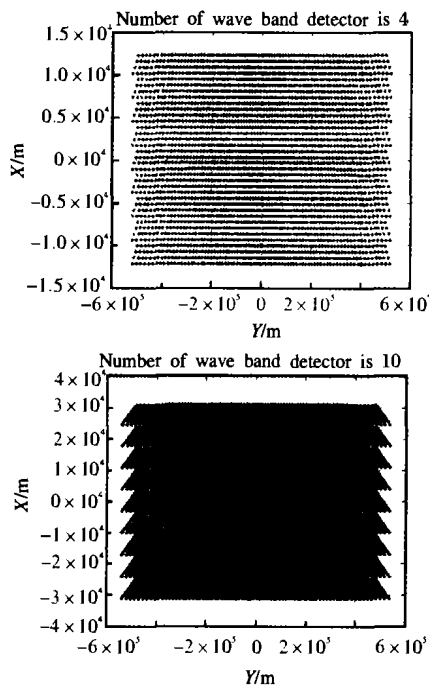


图 2 主光轴处并扫探测器数分别为 4 和 10 的波段连续扫描条带图

Fig.2 Scanning strip of the wave band detector number 4 and 10

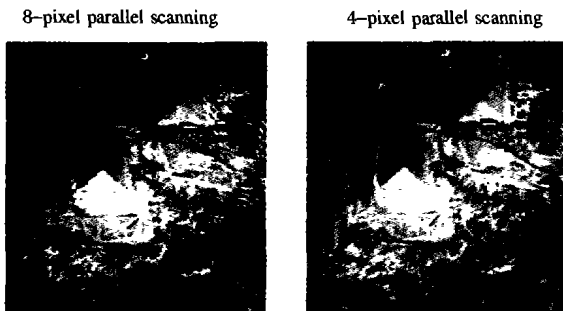


图 3 并扫探测器数不同的波段扫描畸变模拟图像

Fig.3 Scanning pictures of distinct wave bands

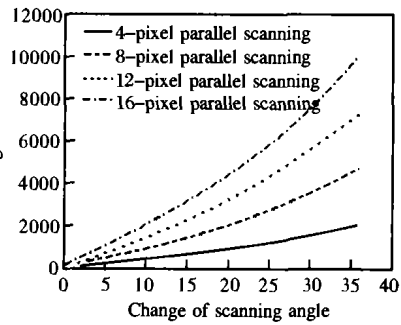


图 4 扫描幅宽差值的变化

Fig.4 Difference change of scanning breadth

带相接处扫描幅宽差值主要与波段并扫探测器数目有关, 而与该波段的位置没有直接关系。波段探测器数目越多扫描条带相接处扫描宽度相差就越大, 造成图像产生锯齿就会越严重。

3 探测器位置引起的扫描畸变

在实际应用中, 卫星一般采用多波段多元并扫技术, 不同波段的探测器放置在焦平面不同的位置上。各个波段的探测器都有自己的扫描特征, 扫描图像有自己不同的畸变程度, 在进行多波段图像的校正和配准上存在一定的困难。

下面计算的是波段在 Y 方向偏离主光轴等效瞬时视场数 j , 波段并扫探测器数 m 以及波段在 Z 方向偏离主光轴等效瞬时视场数 n 的改变所引起的不同程度的扫描畸变。由图 5 可知, 不管波段并扫探测器数目还是波段在焦平面的位置, 都会影响扫描条带的形状和两相邻扫描条带的衔接程度。当波段处于 Z 轴中央时, 偏离主光轴等效瞬时视场数 j 不为 0, 会导致相邻扫描条带一端出现重叠一端出现缝隙且 j 越大这种变化越明显; 另外波段并扫探测器数目的大小也

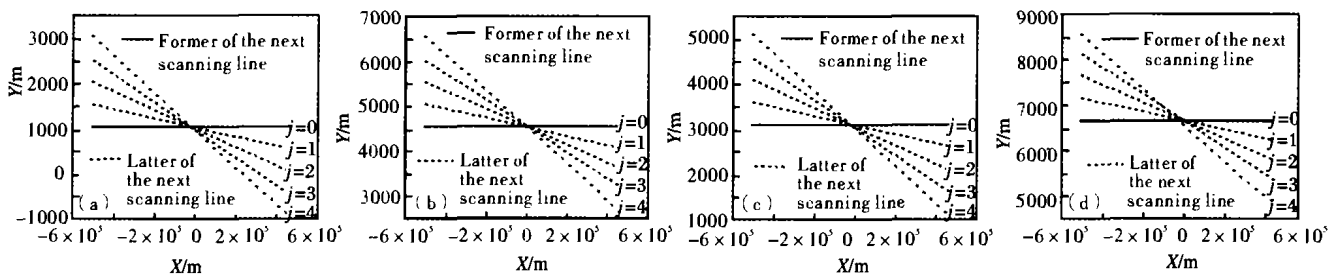


图 5 不同参数下扫描带相接处相邻扫描线在 Z 方向的位置变化 (a) $n=0, m=4$; (b) $n=5, m=4$; (c) $n=0, m=10$; (d) $n=5, m=10$

Fig.5 Position change on the direction Z of border upon scanning line of differ parameter (a) $n=0, m=4$; (b) $n=5, m=4$; (c) $n=0, m=10$; (d) $n=5, m=10$

对此有明显的影 响,并扫探测器数目越大变化越明显。并扫探测器数目为 10, $j=4$ 时,在扫描边缘出现的重叠或缝隙达到 30 m 之多。当波段沿 Z 轴移动到某一位置时,扫描条带出现微小的弯曲,波段并扫探测器数的增大会加重此现象。当并扫探测器数为 10, $j=4$,波段沿 Z 轴偏离焦平面中心 5 个等效瞬时视场时,在扫描边缘出现的缝隙达到近 60 m,但是地面像元在扫描边缘的增大足以覆盖出现的缝隙,不会导致地面信息的丢失。波段偏离主光轴 j 值的增大也造成扫描偏移的增大。 j 为 0 时扫描条带沿扫描方向没有偏移, $j=1$ 时扫描条带在两边缘偏移扫描方向达 1000 m, $j=4$ 时扫描条带在两边缘偏移扫描方向达 4000 m。波段并扫探测器元数目及其沿 Z 轴方向的位置对此的影响可以忽略。 J 值的改变造成图像的扭曲, $j=2$ 时图像扭曲程度达 3 个像元。

4 结 论

波段在焦平面的不同位置和波段并扫探测器数目的改变都有不同的扫描特征,会造成图像畸变,给图像的校正和配准带来困难。

(1) 扫描条带相接处,前后扫描幅宽差值的大小主要由波段并扫探测器数目的多少决定。波段并扫探测器数目越多则扫描条带锯齿畸变越明显。

(2) 扫描条带偏离扫描方向的程度主要由波段偏离主光轴的等效瞬时视场数 j 的大小决定。 j 越大则扫描条带偏离扫描方向的程度越大。

(3) 波段并扫探测器数目、波段在焦平面的位置都会影响相邻扫描条带的衔接程度。

要减小上述影响带来的图形畸变,就要求波段探测器元尽量靠近焦平面中心,波段并扫探测器数也不宜过大。

参 考 文 献:

- [1] 韩心志. 45°旋转发射镜扫描性质的讨论[J]. 红外与毫米波学报, 1991, 10(3): 233-236.
- [2] 刘银年. 45°镜多元探测器并扫成像特性和扫描轨迹分析[J]. 光学精密工程, 2002, 10(1): 110-115.
- [3] 张幼文. 红外光学工程[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982. 224.
- [4] 马俊. 45°旋转镜加 K 反射镜扫描特性讨论[J]. 红外与激光工程, 1999, 28(1): 54-58.
- [5] Pan Delu. A study of anchoring coordinates and calculating zenith of sun and scanner for oceanic satellite data[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1997, 15(14): 539-557.
- [6] 连铜淑. 反射棱镜共轭理论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1988.
- [7] 张永生. 遥感图象信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [8] 章孝灿. 遥感数字图像处理[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1997.

(上接第 260 页)

5 结 论

目前红外非制冷焦平面阵列和系统正在向规格更大、像元间距更小、热分辨率更高、系统的外形尺寸更小、功耗更低、质量更轻、不需要热电制冷器的方向发展。绝大多数非制冷焦平面阵列采用 CMOS 读出电路。在焦平面的读出电路上集成 ADC, 使输出的信号数字化已成为发展趋势。灵巧焦平面和三维红外成像传感器成为新的发展方向。非制冷热成像技术在作用距离上优于微光成像、在外形尺寸上优于制冷红外成像技术, 为中距离探测的主力军, 并有可能在不远的将来在许多应用方面代替制冷热成像技术。

参 考 文 献:

- [1] 张敬贤, 李玉丹, 金伟其. 微光与红外成像技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995.
- [2] Kruse P W, Skatrud D D. Uncooled Infrared imaging Arrays and I Systems[M]. San Diego: Academic Press, 1997.
- [3] 李颖文, 易新建, 何兆湘, 等. 320×240 红外焦面阵列驱动电路的小型化设计研究[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(3): 230-234.
- [4] 蔡毅. 非制冷热成像在夜视技术中的作用和地位[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(3): 214-217.
- [5] 刘梅冬, 刘少波, 曾亦可, 等. 非制冷红外焦平面阵列 BST 铁电薄膜的制备及性能研究[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(3): 222-225.
- [6] Maxtech International, Inc. The world market for military infrared imaging detectors and systems[M]. 2001.