

# 使用小型计算机校正卫星图象

(美) A.N.威廉森

**摘要:** 实践证明, 将卫图计算机用磁带转变为经过景象校正和地图校正的照片, 没有必要以使用大型计算机设备为先决条件。本文讨论一种技术, 采用具有16000字磁心储存器和二台磁盘机的小型计算机来完成这些任务。

## 一、序 言

卫图数据的用户, 可按每个景象选择一套四张由国家宇航局(NASA)提供的黑白像或一张彩色像, 或者一套计算机用磁带。计算机用磁带(CCT)至少具有相片所没有的二个优点。首先CCT提供的数据是原始的数据, 而相片提供的是第二手资料, 在其复制的过程中不可避免地会导致原始资料的降级。其次, CCT以适合于自动数据处理的格式, 记录了资源卫星多光谱扫描器(MSS)每个波段的数字化数据。

美国陆军工程兵航道实验站的实践表明; CCT数据可在小型计算机上进行处理。这个计算机只需具有16,000字的磁心储存器和二台磁盘机即可提供经过景象校正和地图校正的照片, 即相片已校正为在几何学上与地图一致, 不管地图是怎样投影的。本文提供了所使用的技术。

## 二、资源卫星计算机用磁带数据

对资源卫星CCT信息内容的理解是认识CCT怎样能经处理后提供景象校正和地图校正的必要先决条件。

按照MSS的测量序列可最好地描述记录在CCT上的信息。(为了明瞭起见, 下面简单地介绍实际测量的程序) MSS有个瞬时视场, 这个视场包含了在最低点处约 $57 \times 79$ 米大小(大约0.45英亩)的地面, 构成一个像素。扫描镜使瞬时视场沿着垂直于卫星轨道的线发生偏斜; 同时, 沿着每条扫描线, 每隔一定的时间测量一次。用这种方法, MSS对每条扫描线上的3240个像素的光谱反射率进行测量。总数为2340条扫描线画出了一个在地面上 $185 \times 185$ 公里( $100 \times 100$ 海里)区域的资源卫星景象。其中每个像素反映了各个波段的一个数值。

每个像素的数值按次序记录在CCT上; 这样, 只要像素的数值在CCT所记录的一系列数值中的相对位置保持不变, 在景象上的每个像素相对于其他全部像素的位置就保留了下来。这可以通过设想把由矩形方格组成的划一网格套在大陆上的某个区域而更加清楚地想象出来。在网格里, 每个方格相当于一个像素。当MSS的瞬时视场沿着一条扫描线(X—方向)偏斜时, 就测量并记录了第一排里的每个方格的反射率。在第一排最后一个方格的反射率测量和记录完毕后, 一个记录间隔的编码就自动地记录在CCT上, 预示下一排方格的记

录就要开始。这个过程反复进行直到最后一排的最后—个方格的反射率被测量和记录下来为止。然后，一个文件结束编码自动地记录在CCT上，以便终止数字化的过程，一个景象的全部数据已经记录下来。

通过这种途径，网格里每个方格里的反射率被记录下来。同时记录在CCT上的位置意味着每个方格相对于在网格里全部其他方格的位置。简便地数出记录间隔编码，找到所需的行列（Y—值），数出象素值，找到所需的位置（X—数值），即可把任何一个方格或象素的数值按其X—Y位置在CCT上找到。用这种方式记录下来的数据，通常可以当作如同图帧中的数据那样来提交，并可以使它转变为—张胶片上的图象。

### 三、把计算机用磁带转变为摄影胶片的方法

航道实验站（WES）的工作人员用—只增量的胶片读数/写数器把CCT转变为胶片上的图象。只要象素的数值和在CCT上的空间位置保持不变，所产生的图象是地面上某地区在资源卫星多光谱扫描器里的—个摄影复制品。

胶片读数/写数器是—只电机式相片扫描和胶片写数设备，能适应大致  $22.9 \times 22.9$  厘米的相片。此设备可按二种方式工作——扫描方式，即输入方式；写数方式，即输出方式。写数方式用于把CCT的数据转变为摄影图象。为了在这种方式下工作，此设备配有—个旋转滚筒和—个光学系统；光学系统由发光二极管、—个可调孔径和—个能把来自二极管的—个光点调焦到滚筒外周上的透镜系统组成。滚筒装在不漏光的机壳里，这个机壳可在摄影室里装卸胶片。把—张胶片夹在滚筒的外周即可进行曝光。

胶片可用来自二极管发出的0.0125、0.025或者0.05毫米的光点进行曝光。光行的间距和光点的大小可供挑选。当滚筒旋转时，每转—圈，支撑着光学系统的台架按所挑选的光行间距在轴线方向上向前移动—步，直至胶片上全部区域或者所要的区域已经曝光为止。使用高速感光胶片，只要很短的曝光时间。记录速度可以达60,000次曝光/秒。

从二极管发射出来的光的强度，按记录在CCT上的象素数值成正比例增值地进行调节。因此，当胶片读数/写数器的滚筒旋转时，把某—扫描线上的每个象素的数值通过光点曝光在胶片上。当出现记录间隔编码时，二极管即熄灭，直至滚筒运转—周完毕和支撑光学系统的台架已经向前移动了—个增量为止。然后，下一行的光点曝光开始。这个过程—直重复进行到CCT上出现文件终止编码为止。

胶片读数/写数器由小型数字计算机控制，以便对CCT数值进行实时调制，增加图象的反差度并产生许多摄影效应。

### 四、按景象校正图象的步骤

校正了CCT数据由象素的形状和畸变所引起的误差，便得到景象校正的图象。

#### 1. 象素形状的校正：

用胶片读数/写数器记录在胶片上的摄影图象由—个方形光点的正交阵列所组成，每个方形光点记录在胶片上，成为—个灰色的暗影，其光强相应于记录在CCT上的象素值。因为

MSS像素的宽度和长度的比值大约是1 : 1.38, 所以胶片读数/写数器像素的形状和MSS的像素的形状的差异必须校正过来。为此, 把每第3行和每第20行扫描线像素值重复一次构成CCT拷贝(图1)。

这一步骤使CCT数据的扫描线从2340行增加到3237行。用这种方法得到的磁带所形成的图象与一个资源卫星景象所见到地面区域在几何上十分相似。

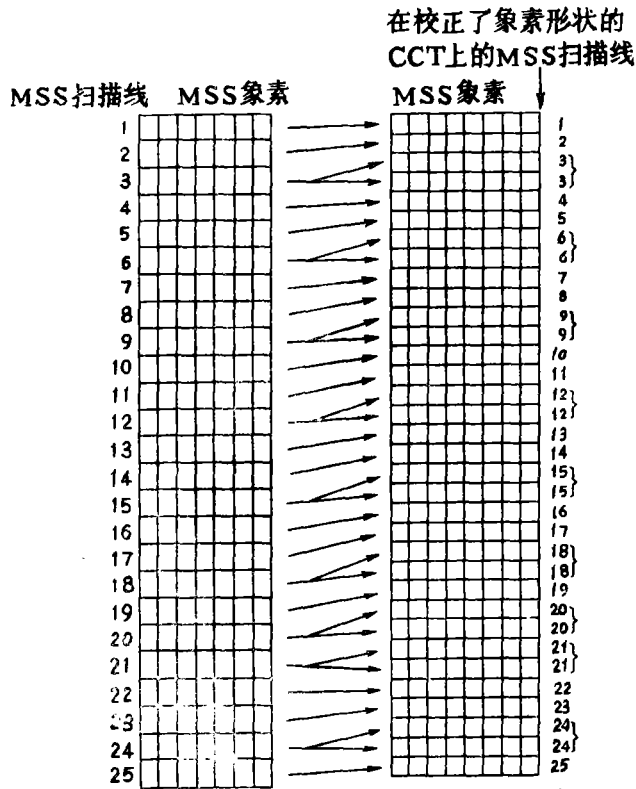


图1 用“伸展”方法校正胶片读数/写数器像素形状

## 2. 畸变的校正:

造成畸变的原因是资源卫星从一个景象的北端到南端需要大约25秒钟。在这段时间内, 地球的旋转使地面东移一定的距离。

在航道实验站所在的美国南部的纬度上, 地面相对于卫星航道往东移动一个像素的宽度(57米)大概需时0.124秒。在地球的旋转使地面东移一个像素的宽度的这段时间内, 卫星沿着它的轨道向南推进距离大概相当于11.6条扫描线。如图2所示, 按每12条扫描线为一组向西切掉一个像素的宽度, 在大多数场合下, 可把这种系统误差校正到所需要的精确度。总数为260个虚假的像素插入到CCT上, 不论插在每条扫描线的起端或末端都可使数字阵列复原为长方阵列, 所得到的数字阵列每条扫描线含有3500个像素。

这样的处理在所得到的胶片上几乎看不出来。因为用于胶片曝光的光点很小(0.05毫米)但是这种处理却有效地近似地校正了畸变。

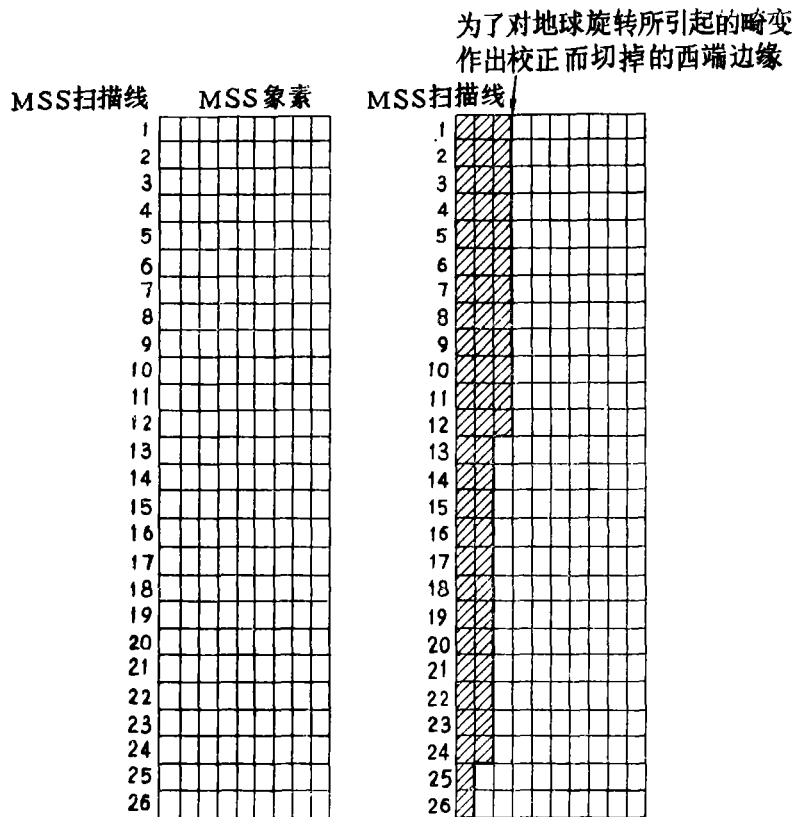


图2 校正了由地球旋转所引起的畸变的资源卫星象素阵列

### 3. 航道实验站和国家宇航局景象的对比:

航道实验站 (WES) 的景象校正图象与国家宇航局 (NASA) 所提供的景象校正图象在各方面都可以相比。主要区别在于航道实验站提供图象的比例是 1 : 1,152,500 而不是 1 : 1,000,000。

## 五、按地图校正图象的步骤

只要记录在CCT上的每个数值相对于全部其他数值的位置不变,由CCT提供的图象的几何完整性就会保存下来。相反,系统地变动记录在CCT上的象素数值的相对位置,图象就会发生几何变动。

这种做法的技术依据是汪氏的研究成果。汪氏研究了多光谱扫描器图象在几何学和制图学上的精确度。在我们的研究中,几何歪扭是按一对20项的多项式来模拟的。通用的形式是:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{标定}} = & x + b_1 + b_2x + b_3y + b_4xy + b_5x^2 + b_6y^2 + b_7x^2y + b_8y^2 + b_9x^3 \\
 & + b_{10}y^3 + b_{11}x^3y + b_{12}y^3x + b_{13}x^4 + b_{14}y^4 + b_{15}x^2y^2 + b_{16}x^3y^2 \\
 & + b_{17}y^3x^2 + b_{18}x^5 + b_{19}y^5 + b_{20}x^3y^3
 \end{aligned}$$

$$Y_{\text{标定}} = y + c_1 + c_2x + c_3y + c_4xy + c_5x^2 + c_6x^2 + c_7x^2y + c_8y^2x + c_9x^3 + \dots + c_{20}x^3y^3$$

其中 $x$ 和 $y$ 是图象上一个转换点所测得的坐标,  $b$ 和 $c$ 分别是 $x$ 和 $y$ 方程式的系数。

汪氏研制了一项计算机程序(POLY20)采用按联立最小二乘调整法分别求出 $x$ 和 $y$ 坐标的最佳多项式系数。求出 $x$ 和 $y$ 的转换误差(分别为AO和BO)和旋转误差( $\theta$ ) (参考文献3, 叙述了这个程序并列出了整个计算机程序表)。在求解时, 多项式的一项或者一个以上的项可作零, 这些程序还能估算出所计算的系数的标准误差。因此, 程序可用不同级序的多项式来模拟歪扭。并且根据所计算的系数的标准误差判别出在数据输出中无关紧要的项目。此外, 可通过数个资源卫星景象的联立方程式求解而得到一个适合于一系列景象的最佳多项式。

汪氏用POLY20程序分析了两个MSS景象, 在这两个MSS景象中和在1:24,000比例尺的美国地质调查局的地图上选定了转换点, 包括公路交叉口和水系标志。然后测量了这些转换点的坐标系, 再用POLY20程序通过不同级序的多项式来模拟歪扭。结果表明, 在整个MSS图中, 均方根歪扭矢量可达 $\pm 150$ 到 $\pm 350$ 米。然而, 歪扭是高度系统性的, 并且可以通过四个以上的转换点把MSS图象校正到满足国际地图精度标准对1:500,000比例尺地图的要求。(对于这种比例尺的地图来说, 这一标准要求在所测试的全部转换点中误差超过0.5毫米的点不多于10%)。采用25到30个转换点, 来校正每个MSS景象可以得到 $\pm 55$ 米的精度。

为了采用汪氏方程式, 把一个资源卫星景象中的转换点坐标转换为一个标定系统, 诸如一张地图, 设想了一个图象网格。这个网格具有相应于一个资源卫星景象的2340根扫描线, 每条扫描线有3240个像素。另外又增加了来自像素形状校正和畸变校正的897条扫描线, 每条扫描线又增加了260个像素, 这一网格所包含的每个假想的像素都具有一个确定的 $x-y$ 位置。问题在于找出资源卫星CCT数据里的(为了便于讨论, 把这些数据看作是在一个歪扭的、转换的和旋转的网格中的像素的阵列)反射率的地址, 以便安排在假想的不歪扭的网格中的每个位置上。为了这样做, 要解答二对联立方程式, 第一对方程式是:

$$x_r = a_1x + b_1y + c_1 + x \quad (1)$$

$$Y_r = a_2x + b_2y + c_2 + y \quad (2)$$

其中 $x_r, y_r$ 是在不歪扭的、未经过转换的、未经过旋转的网格中像素的坐标。 $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ , 是POLY20求解得到的系数。

$x, y$ 是在歪扭已校正过的网格中反射率数值的坐标系。

这二个方程组的解同时给出了已经过歪扭校正但未经过转换和旋转校正的网格的反射率数值的地址。 $x$ 和 $y$ 中的转换误差和旋转误差必须在CCT上固有的反射率的地址被求出之前加以校正。求解第二对联立方程式可以校正它们。

$$x = (x_i - AO) \cos\theta + (y_i - BO) \sin\theta \quad (3)$$

$$y = - (x_i - AO) \sin\theta + (y_i - BO) \cos\theta \quad (4)$$

其中

$x, y$ 是校正了歪扭的网格中反射率数值的座标(来自上述1和2联立方程组的解)

$x, y$ 是资源卫星CCT上的反射率数值在图象网格 $x_r, y_r$ 处的位置。

AO, BO,  $\theta$  是POLY20解得的系数。

用下列方法使用1—4方程组。图象（不歪扭的）第一行第一个像素的地址是1和2。从方程组1和2解出的 $x$ 和 $y$ 用在方程组3和4中来解 $x_i, y_i$ 。如果 $x_i$ 和 $y_i$ 尚未最接近于整数以便保持CCT上的像素的整数性。这个处理过程要重复进行直到每个像素能记录在磁带上。这个过程完成后，磁带就包含了被按放在图象网格里的资源卫星CCT上每个反射率数值的地址。

然后，这个磁带（此后称为地址磁带）用来作为在资源卫星CCT上检索数值的指南。地址磁带上的第一个地址是被按放在图象网格里1.1位置上的CCT反射率数值的地址。然后对CCT再次进行检索，直至找到按放在2.1位置上的反射率数值的地址，并把这个地址的反射率数值按放在图象网格里的2.1位置上为止。这个过程要重复进行，直至图象网格里的第一行像素的数值全部找到为止。然后把把这些数值记录在磁带上。用这种方法，使每个像素数值填满图象网格里的每一行，并且把结果记录在磁带上。这样得到的磁带具有图帧的格式，所以可与胶片读数/写数器匹配。

POLY20程序可以把余项列成一张单子，后者指示了把资源卫星景象的转换点座标调整为符合于地图中的转换点的座标的精确度。处理24个不同景象的经验表明POLY20一般能把百分之五十以上转换点的 $x, y$ 座标调整到二个或者不到二个像素的精确度（一个像素为0.05毫米），并能把百分之十以上转换点的位置调整到一个或不到一个像素的精度。尽管余项良好地指出了POLY20提供的精度，但是它们并不说明任何可能由于转换点座标的定位和测量所带来的误差。它们也不包括任何可能为了将图象网格填满而谋求找到像素数值位置的联合方程组在求解过程中所造成的误差。

## 结 束 语

WES的经验表明景象校正和地图校正图象能够来自资源卫星CCT，而不需要以运算快速、储存容量庞大的计算机为先决条件。本文讨论了用一个具有16,000字的磁心储存器和二台磁盘机的计算机把CCT磁带转变为摄影胶片的技术。

张文成译自美《摄影测量工程和遥感》1977年9期 张义纲校