DOI:10.13203/j.whugis1988.04.011

第13卷 第4期 武汉测绘科技大学学报 Vol.13 No.4
1988年 12月 Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping Dec. 1988

摄影测量和数字图象处理的某些进展

陈 鹰

（西安测绘研究所）

摘 要

本文从王之卓教授关于“数字图象处理将是摄影测量的一个新的作业领域”的观点出发，介绍了用数字图象处理的方法解决摄影测量问题方面的某些进展，主要是：快速数字微分纠正，影象增强与镶嵌，数字立体正射影象图，LANDSAT和SPOT卫星图象的参量估计与星历数据的利用。

【关键词】 数字图象处理；数字摄影测量；数字微分纠正

引 言

王之卓教授曾于1979年指出：“遥感图象处理是摄影测量自动化的基础”，“数字图象处理将是摄影测量的一个新的作业领域”。这些观点不仅论述了摄影测量、遥感以及数字图象处理之间的密切关系，而且也被我国摄影测量事业发展的实践所证实。本文主要介绍我所近年来在摄影测量与遥感数据处理和数字图象处理方面的某些进展。

1 快速数字微分纠正

数字微分纠正实质上是一个图象变换的问题，也就是将一个中心投视图象变换成正射投影的图象。这一过程中，必须处理“海量数据”，因此，提高处理速度是非常重要的。

1.1 纠正模型

目前，在数字微分纠正的过程中，一般采用一种经典的共线方程。为了提高速度，在我们的数字微分纠正软件包中，使用了一个新的共线方程，该方程是以天底分量坐标系为基础的，即

收稿日期：1988—08—20

$$
\left.\begin{aligned}
x_k &= k_f \frac{X + Z \cdot p}{X \cdot a + Y \cdot b - Z} - k_x \\
y_k &= k_f \frac{Y + Z \cdot q}{X \cdot a + Y \cdot b - Z} - k_y
\end{aligned}\right\} \tag{1}
$$

$$
\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_1 & m_2 \\ n_1 & n_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} u_k \\ v_k \end{pmatrix} \tag{2}
$$

其中 $X\ Y\ Z$ 是地面点坐标，u，v 是影象坐标（象元），其它符号可参见文献〔5〕。使用上述表达式可将中心透视图象变换成正射投影的图象。象片旋角从（1）式中分离出来并被包含在（2）式中，而旋角与图象坐标系的仿射变形因子同时被解算。由于在式（1）中不必考虑旋角，故而解算该式所需要的乘法次数比解算经典的共线方程少50％，所以在处理海量数据的过程中，效率大大地提高了。

1.2 二维阵列代数算法及其递推公式

运用上述数学模型可以将中心透视图象变换为正射图象并构成许多“锚点”，然而，为了构成密集的数字图象，必须进行进一步内插。一个常规多项式内插矩阵表达如下（以双线性内插为例）

$$
\left.\begin{aligned}
\underset{k^2,1}{\overline{U}} &= \underset{k^2,4}{X} \ \underset{4,1}{U} \\
\overline{V} &= X \quad V
\end{aligned}\right\} \tag{3}
$$

式中，$\overline{U}$、$\overline{V}$ 是未知点矢量，U、V 是锚点矢量，矩阵 X 由未知点和锚点坐标构成，一般来说，X 是一个方阵，而且由于数字图象是一种正交格网的结构，故而 X 可用两个相同的低阶矩阵的直积（Kronecker product[2]）表达

$$
\underset{k^2,4}{X} = \underset{k,2}{Y} \otimes \underset{k,2}{Y} \tag{4}
$$

于是，可将（3）式按二维阵列代数写成下式[5]

$$
\left.\begin{aligned}
\underset{k,k}{\overline{U}} &= \underset{k,2}{Y} \ \underset{2,2}{U} \ \underset{2,k}{Y^T} \\
V &= Y \quad V \quad Y^T
\end{aligned}\right\} \tag{5}
$$

比较（5）与（3）式表明，用阵列代数计算一个点所需要的乘法次数比用常规多项式要求的次数少40％，而且阵列代数的计算效率会随未知点和锚点数以及拟合多项式次数增加而提高。这说明具有正交格网形式的图象数据用阵列代数法处理是合适的。为了进一步提高计算速度，可由（5）导出一个简便的递推公式。以 $\overline{U}$ 为例，在一个计算单元内，令 $Q=d/D$，d 是未知点间的距离，D 是锚点之间的距离，我们有

$$
\left.\begin{aligned}
p &= Q(u_{1,2} - u_{1,1}) \\
r &= Q(u_{2,1} - u_{1,1}) \\
s &= Q(u_{2,2} - u_{1,1}) \\
a_1 &= 0 \\
b_1 &= u_{1,2} - u_{1,1}
\end{aligned}\right\} \tag{6}
$$

则计算未知点坐标的递推公式为

$$\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{l}a_i = a_{i-1} + r \\ b_i = b_{i-1} - p + s\end{array}\right\} i = 2, 3, \cdots, k \\ \left.\begin{array}{l}c_i = (a_i - b_i)Q \\ \overline{U}_{i,1} = a_i + u_{1,1} \\ \overline{U}_{i,j} = \overline{U}_{i,j-1} - c_i\end{array}\right\} \begin{array}{l} i = 1, 2, \cdots, k \\ j = 2, 3, \cdots, k\end{array}\end{array}\right\} \tag{7}$$

比较公式（7）和（5）可知，使用递推公式所要求的乘法次数为（$6+2k$），而用（5）式则是 $4k(k+2)$。通过（7）式与（3）式的进一步比较和试验可知，二维阵列代数递推算法比常规多项式算法有明显的优越性，在处理一个10兆字节的图象文件时，使用该公式与多项式计算速度比率为 3 ∶ 1。

2 数字影象的增强与镶嵌

由于影象摄取的日期、太阳高度角以及摄影机视角等因素不同，使得两幅图象的色调和反差可能有明显的差异，因而在经过镶嵌所得到的新图象上会出现“假轮廓”。用人工镶嵌来解决这一问题是非常困难的，然而用数字镶嵌的方法能够获得满意的效果，且快速、精确。为了达到这种效果，在镶嵌之前，必须进行图象增强。

2.1 图象增强

在我们的数字图象处理软件包里，使用了直接直方图规定化技术，其主要目的是处理两幅给定的图象，使它们具有相同的概率密度函数的特性。

假定原始图象及希望图象的灰度级分别为 r 和 e，而它们的概率密度函数分别是 $P_r(r)$ 和 $P_e(e)$，增强过程可以概括如下：

（1） 计算原始图象变换函数，使新的概率密度是均匀密度

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^{k} P_r(r_j) \tag{8}$$

（2） 计算希望图象的变换函数

$$v_k = G(e_k) = \sum_{j=0}^{k} P_e(e_j) \tag{9}$$

（3） 计算逆变换函数

$$e_k = G^{-1}(v_k) \tag{10}$$

若用均匀的灰度级 s 取代逆过程中的 v，则可得到原始图与希望图象灰度级之间的映射关系。

2.2 影象镶嵌

上述映射变换是在两个数字图象文件的重叠子区内完成的，如果将这一关系从子区扩展到每个文件的整体，则可将两个文件变换成具有一致色调和反差的图象，在这一变换的基础上去进行图象镶嵌就容易了。

首先，在子区内按照相应灰度级差最小的准则找到一条镶嵌曲线，然后取相应灰度级的加权平均值，而权的大小与象元到曲线的距离成反比。文献〔5〕的试验结果表明，新的镶嵌图象具有均匀的色调与一致的反差，是由于上述各种因素引起的“假轮廓”消失。

3 立体正射影象图

经过数字微分纠正与镶嵌，构成了一幅数字正射影象图，在此基础上，用数字图象处理的方法可以生成一个立体匹配图象。如果这两幅图象用互补色原理显示在屏幕或软片上，就能构成立体正射影象图。在这种地图上，有些基本条件必须被满足，即上下视差必须被严格消除，左右视差必须与地面点高程一致并适合于固定基线的量测与观察。

生成立体匹配图象的基本原理，是在一个高程 Z_0 到 Z_i 间变化的区域求左右视差的总和，即

$$\Delta p = \int_{Z_0}^{Z_i} dp = -\int_{Z_0}^{Z_i} \frac{b}{Z} dZ = -b \ln \frac{Z_i}{Z_0} \tag{11}$$

如文献〔1〕所指出的那样，如果用光学机械法来解算（11）式，则需要使用复杂的仪器，而用数字图象处理的方法则非常简单。这一过程是在基线方向确定象元位置的一维变换，由于是逐点处理，因而结果是精确的，所以，立体正射影象图能够用来量测点的三维坐标。首先量取一对已知同名点的距离 d_k，其次量取任意同名点距离 d_i，则该点高程即可求出。由（11）式得

$$\Delta d_i = \Delta p_i - \Delta p_k = d_i - d_k = -b\frac{h_i}{Z_0 - h_i} + b\frac{h_k}{Z_0 - h_k}$$

则

$$h_i = Z_0 \frac{\Delta d_i Z_k - bh_k}{\Delta d_i Z_k - Z_0 b} \tag{12}$$

式中 Z_0 是空间传感器的高度，$Z_k = Z_0 - h_k$，b 是匹配基线，增大 b 能增强立体效应，这对于小比例尺的空间象片来说是很有意义的。

我们在一个立体匹配象对上用坐标仪量取了19个同名点，将由（12）式算得的结果与从1∶5万地图上得到的相应高程比较，均方误差为±2.58米。

4 LANDSAT和SPOT图象参量估计和星历数据的利用

4.1 遥感图象时间序列姿态高度参量的序贯拟合推估

LANDSAT图象的几何纠正，一般采用多项式拟合法，为了保证精度，必须要有足够数量且分布均匀的地面控制点，这将使判读工作量大大增加。因此，研究一种用少量控制点对遥感图象进行几何纠正是十分重要的。

在文献〔6〕中，曾给出下式

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R_c R_s D_p \begin{pmatrix} 0 \\ \sin\theta \\ -\cos\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{cs} \\ Y_{gs} \\ Z_{cs} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \tag{13}$$

式中 X、Y、Z——空间直角坐标系

X_{es}、Y_{es}、Z_{es}——卫星传感器的地心坐标

ΔX、ΔY、ΔZ——空间直角坐标系与地心坐标系原点之坐标差

R_e——星底点经、纬度及轨道方位角构成的矩阵

R_s——传感器姿态矩阵

D_p——传感器与地面点之距离

计算（13）式所需的某些数据可由星历表给出。（13）式中所包含的估值参量是时间的函数，根据该式按最小二乘拟合推估原理可以导出时间参量的序贯拟合推估公式

$$\left.\begin{aligned} X_1 &= Q_1 A_1^T C_{11}^{-1} l_1 \\ X &= X_1 + Q_1 A_2^T \overline{C}_{22}^{-1}(l_2 - A_2 X_1) \\ Q &= Q_1 - Q_1 A_2^T \overline{C}_{22}^{-1} A_2 Q_1 \\ \overline{C}_{22} &= C_{22} + A_2 Q_1 A_2^T \end{aligned}\right\} \tag{14}$$

式中 X_1 是根据第一部分观测值的参量估值，X 表示用第二部分观测值对 X_1 的改善。Q_1 是被估参量的先验方差，可由卫星之姿态量测系统的误差决定，Q 是 Q_1 的改善值，C_{11}和C_{22}是第一和第二部分观测值的方差，$\overline{C}_{22}$ 是 C_{22} 的改善值。

在根据第一部分观测值估计之后，也可以每次只增加三个观测值(即一个地面控制点)，并重复上述过程至最后一点为止，这种方法被称为序贯拟合推估。在该法中，由于直接利用了星历数据，不需求逆矩阵而使计算快速。在试验中[6]，用 8 个控制点估值，56 个检查点坐标由（13）式及估计参量和相应图象坐标算得，其点位中误差小于 1 个象元；当用多项式拟合法时，要达到同样的精度，最少需要37个地面控制点。这表明，用序贯拟合推估获得的时间序列的姿态、高度参量是足够精确的，它为用少量控制点对遥感图象进行几何精纠正提供了保障。

4.2 SPOT图象星历数据的利用

SPOT 图象具有良好的几何交会特性，因此它是立体测图的重要资料。然而，在用光束法平差或空间后交时，线、角元素之间存在着很强的相关性，致使不能获得精确的答解。利用星历数据，则可避免这种相关。

在 SPOT 图象磁带引导文件的第三个记录中给出了 9 点星历和72点（或73）姿态，在该记录中，卫星位置地心坐标按60秒（世界时）的间隔给出，同时，该文件还给出了图象中心世界时。为了有效地应用这些数据，在一个光束法平差软件包中，我们进行了下列处理。

（1）为了消除地球曲率影响，将卫星位置地心坐标及控制点坐标均化为割平面坐标，其原点选为与图象中心相应的地底点。

（2）计算卫星位置割面坐标的插值系数。

（3）按共线条件列出基本误差方程，条件为

$$X_i = \lambda R_t (X_{gi} - X_{st}) \tag{15}$$

式中 X_i 是象点 i 的矢量且 $X_i = [x_i \quad 0 \quad -f]^T$，$R_t$ 是时刻 t 的旋转矩阵，它包含了传感器姿态及反光镜倾角。X_{gi} 是与象点相应的地面控制点矢量，X_{st} 是时刻 t 传感器位置矢量。

建立从第（1）步获得的伪观测值的误差方程及控制点的误差方程，最后的法方程形式为

$$A^{T}PAX = A^{T}Pl \tag{16}$$

（4）按（14）式求解姿态及位置时间序列参量。

我们用一个SPOT全色波段象对进行了试验，控制点由1：5万图上获取。15个控制点的位置和高程中误差分别为±11.8米和±9.2米，而37个检查点的中误差为±14.1米和11.2米。

当使用同一象对而不用星历数据时，答解是不稳定的，37个检查点中误差为±28.9米和±22.7米。这一结果说明，当基线、高度比较小，象片倾角较大时，线、角元素间的相关性是明显的，而我们所用象对倾角为1.8°，基、高比为0.6。

试验表明，星历数据的利用能为立体测图提供好的结果。必须指出，由于我们未能获得精确的焦距长度及软片收缩的资料，因而试验是初步的，如能利用这些资料，其精度将进一步提高。

参 考 文 献

〔1〕 王之卓．摄影测量原理．测绘出版社，1979．

〔2〕 王之卓．摄影测量原理续编．测绘出版社，1986．

〔3〕 Gonzales R C, Wintz P. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, 1977.

〔4〕 陈 鹰．摄影测量中一种新的共线方程及应用．测绘学报，1983(2)．

〔5〕 陈 鹰．数字影象图的研究．测绘科技，1984(3)．

〔6〕 陈 鹰．遥感图象的时间序列姿态、高度参数的序贯拟合推估．测绘学报，1988(2)．

Some Advances in the Field Photogrammetry and Digital Image Processing

Chen Ying

(Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping)

Abstract

In this paper, some advances in the use of digital image processing for solving the photogrammetric problems are discussed since professor Wang Zhizhuo's point of view "digital image processing will be a new operational field of photogrammetry". The subjects under discussion include fast differential rectification, image enhancement and digital mosaic, digital stereoorthophotomap, use of ephemeris data and estimation of parameters for LANDSAT and SPOT imagery.

[Key words] digital image processing; digital photogrammetry; digital differential rectification