

文章编号: 1007-4619(2007)02-0247-05

# 基于 Level 0 产品的 ADS40 正射影像快速生成

刘 军, 王冬红

(信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052)

**摘 要:** 简单介绍了 ADS40 机载三线阵传感器的成像原理及其数据预处理技术, 深入分析了 ADS40 影像定位的数学模型, 提出一种快速确定成像扫描行的搜索算法, 以此为基础设计出直接从 ADS40 Level 0 产品生成正射影像的快速校正流程。实验结果表明, 本文的正射校正方法快速、有效, 能满足预定比例尺正射影像的几何精度要求。

**关键词:** 三线阵; 几何校正; 正射纠正; 外方位元素; 扫描行

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A

## Efficient Ortho Image Generation from ADS40 Level 0 Products

LIU Jun, WANG Dong-hong

(Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Henan Zhengzhou 450052, China)

**Abstract** In this paper, the imaging principle, sensor model and the data pre-processing procedure of the ADS40 three-line sensor are briefly addressed firstly. Then a comprehensive study is concentrated on the mathematic sensor model of the ADS40 images, in which an efficient iterative searching algorithm was developed to determine the corresponding scan line given an object point. After that, the paper describes an efficient ortho image generation procedure that can be applied directly to the ADS40 Level 0 products. Test results show that the proposed ortho-rectification procedure works well and effectively and also the accuracy fulfills the requirements of the ortho image generation with corresponding map scale.

**Key words:** three line scanner; geometric rectification; ortho rectification; exterior orientation elements; scan lines

## 1 引 言

近十多年来, 三线阵推扫成像技术在星载和机载遥感系统上得到了广泛应用, 并诞生了多套实验性和商业传感器系统, 如 MEOSS, WAOSS, MOMS-02/D2, DPA, WAAC, ADS40 和 TLS 等。其中 ADS40 是全球首台商业机载三线阵传感器, 它由德国宇航院与 Leica 公司联合研制, 2000 年在阿姆斯特丹第 19 届国际摄影测量与遥感大会上正式推出。目前, 虽然许多国家包括中国已经购买了 ADS40 用于航测作业生产, 但由于 ADS40 独特的成像方式, 其数

学模型较为复杂, 成熟的处理软件仅有 SOCET SET, LPS, ISTAR 几家, 并且价格均较为昂贵。本文首先对 ADS40 的数学模型进行深入分析, 在此基础上提出一种 ADS40 正射影像的快速生成算法, 并给出实验结果。

## 2 ADS40 成像原理

ADS40 利用共焦面的多条 CCD 阵列构成对地观测的前视、下视和后视传感器, 采用推扫成像原理, 通过飞机向前飞行同步获取地面三个相互重叠的影像条带 (图 1)。前视、下视和后视阵列构成了

收稿日期: 2006-06-20; 修订日期: 2006-07-13

作者简介: 刘 军 (1978—), 男, 信息工程大学测绘学院博士生。主要从事数字摄影测量等技术的研究, 已发表论文 10 余篇。E-mail: junliu\_rs@yahoo.com.cn.

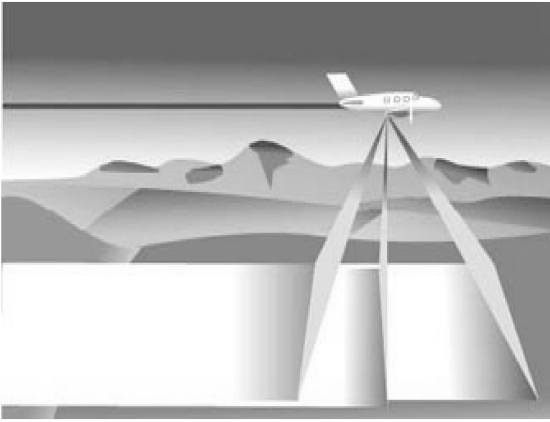


图 1 ADS40三线阵推扫成像原理

Fig 1 Three-line pushbroom imaging of ADS40

28°, 14°和 42°的立体成像角, 保证立体影像具有良好的基高比。ADS40中集成的 Applanix公司 POS/AV 510系统, 在飞行期间同步获取传感器的位置和姿态参数, 通过后处理可提供各扫描行较精确的外方位元素。

### 3 数据预处理

ADS40数据预处理除了进行数据的下载、规整、格式转换、存档等常规工作之外, 还包括两个非常重要的内容: MU/GPS数据后处理及影像几何校正。

#### 3.1 MU/GPS后处理

将机载 GPS数据、MU数据与地面基站 GPS数据进行联合差分处理, 通过卡尔曼滤波为各扫描行提供较精确的外方位元素。由于不同的线阵可能采用不同的扫描频率, 后处理要为每幅影像生成定向数据文件 (Orientation Data File ODF)。MU/GPS数据后处理由 Applanix公司 POSpac软件完成, 其中要对 GPS和 MU相对镜头透视中心的偏移分量进行改正。

#### 3.2 几何校正

几何校正是机载线阵推扫影像应用必需的处理环节。由于飞机运动的影响, 机载线阵推扫影像存在较大的几何变形 (图 2), 给目视判读造成了很大困难, 甚至是难以进行, 必须进行几何校正才能将影像提高到常规遥感影像的可视化水平<sup>[1]</sup>。几何校正的一般做法是利用 MU/GPS系统提供的行方位数据将原始影像投影到指定高度的平面上。针对

ADS40而言, 为了提高校正速度, 原始影像 (Level 0)的每个扫描行仅有 3个点被投影到校正平面上, 其他点的坐标通过内插得到, 但校正结果 (Level 1)仍能满足立体量测的要求 (图 3)。但是, 几何校正破坏了 Level 0影像与地面存在的行中心投影关系, 为进行定位计算, Level 1影像上的任一像点也必须能够快速、准确地投影到 Level 0影像上。



图 2 Level 0影像

Fig 2 Level 0 image of ADS40

(<http://www.lh-systems.com>)

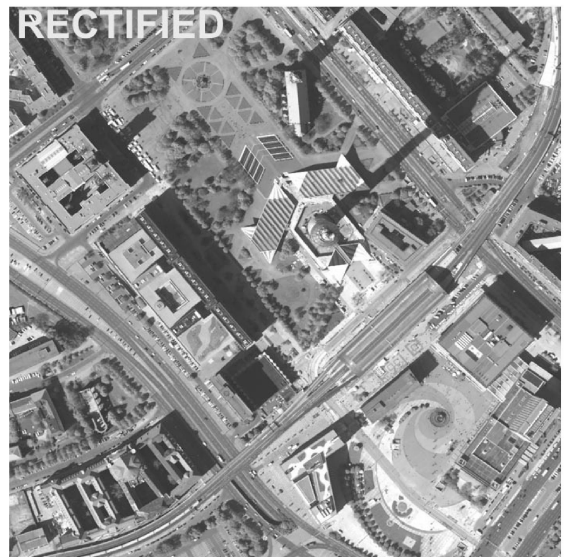


图 3 Level 1影像

Fig 3 Level 1 image of ADS40

(<http://www.lh-systems.com>)

Level 1影像具有近似地理编码的性质。与正射影像相似, 为了能得到 Level 1上各像点的物方坐标,

在其对应的支持文件 (sup) 中保存着 5 个校正参数 (RECT\_\*\*\*), 它们是: ① 比例因子  $m$  (RECT\_SCALE),  $m = 1/GSD$ ,  $GSD$  为地面采样间隔; ② 平移量  $X_0$  (RECT\_XOFFSET) 与  $Y_0$  (RECT\_YOFFSET), 即 Level 1 影像左下角点的物方坐标; ③ 校正平面高度  $H$  (RECT\_HEIGHT); ④ 旋转角  $\alpha$  (RECT\_ROTATION), 将航线旋转到东西方向的转角。RECT\_\*\*\* 有关参数在几何校正过程中计算得到。

### 4 ADS40 影像定位的数学模型

Level 1 影像 是 进 行 立 体 量 测 和 后 续 摄 影 测 量 处 理 的 基 础, 所 有 针 对 ADS40 的 立 体 量 测 工 作 都 基 于 Level 1 级 产 品 进 行, 空 中 三 角 测 量 所 需 的 连 接 点 也 是 在 Level 1 影 像 上 匹 配 得 到, 实 现 Level 0 影 像 与 Level 1 影 像 之 间 的 快 速 相 互 转 换, 是 ADS40 影 像 定 位 模 型 的 关 键 内 容。

#### 4.1 利用 Level 0 像点计算 Level 1 像点坐标

设地面点  $P$  在焦平面坐标系中的坐标为  $p'(x, y)$ , 在 0 级影像上的像点为  $p^0(s, D)$ , 在 1 级影像上的像点为  $p^1(s, D)$ , 则利用  $p^0(s, D)$  计算  $p^1(s, D)$  要经过以下三步<sup>[2]</sup>:

(1) 利用相机检校数据计算 Level 0 像点

$$p^0(s, D) \text{ 的焦平面坐标 } p'(x, y) \begin{cases} p'_x = xca[ pos ] + d \cdot (xca[ pos+1 ] - xca[ pos ]) \\ p'_y = yca[ pos ] + d \cdot (yca[ pos+1 ] - yca[ pos ]) \end{cases}$$

式中,  $xca$  和  $yca$  存储的是从相机检校文件 (cam 文件) 中读取的各 CCD 单元在焦平面坐标系中的物理位置;  $pos = \text{int}(p'_x)$ ,  $d = p'_x - pos$

(2) 利用共线方程计算  $p'(x, y)$  的物方坐标

$$P(X, Y, Z) \begin{cases} P_X = X_s + (P_Z - Z_s) \frac{a_1 p'_x + a_2 p'_y - a_3 f}{c_1 p'_x + c_2 p'_y - c_3 f} \\ P_Y = Y_s + (P_Z - Z_s) \frac{b_1 p'_x + b_2 p'_y - b_3 f}{c_1 p'_x + c_2 p'_y - c_3 f} \end{cases}$$

式中, 外方位元素利用  $p^0$  在 ODF 文件中内插得到, 物方坐标  $P_Z$  为校正平面高度, 即  $P_Z = H$ 。

(3) 利用纠正参数计算  $P$  在 Level 1 上的像点

$$\text{坐标} \begin{cases} p^1_x = m \cdot (P_X \cos\alpha - P_Y \sin\alpha) - X_0 \\ p^1_y = N - m \cdot (P_X \sin\alpha + P_Y \cos\alpha) - Y_0 \end{cases}$$

其中,  $N$  为 Level 1 影像的行数。

#### 4.2 利用 Level 1 像点 $p^1(s, D)$ 计算 Level 0 像点坐标 $p^0(s, D)$

类似的, 利用  $p^1(s, D)$  求解  $p^0(s, D)$  也要经过以下三步:

(1) 利用纠正参数计算 Level 1 像点  $p^1(s, D)$  的物方坐标  $P(X, Y, Z)$

$$\begin{cases} P_X = \frac{1}{m} (p^1_x + X_0) \cos\alpha + \frac{1}{m} (N - p^1_y + Y_0) \sin\alpha \\ P_Y = -\frac{1}{m} (p^1_x + X_0) \sin\alpha + \frac{1}{m} (N - p^1_y + Y_0) \cos\alpha \\ P_Z = H \end{cases}$$

(2) 利用共线方程计算  $P(X, Y, Z)$  的焦平面坐标  $p'(x, y)$

$$\begin{cases} p'_x = -f \frac{a_1 (P_X - X_s) + b_1 (P_Y - Y_s) + c_1 (P_Z - Z_s)}{a_3 (P_X - X_s) + b_3 (P_Y - Y_s) + c_3 (P_Z - Z_s)} \\ p'_y = -f \frac{a_2 (P_X - X_s) + b_2 (P_Y - Y_s) + c_2 (P_Z - Z_s)}{a_3 (P_X - X_s) + b_3 (P_Y - Y_s) + c_3 (P_Z - Z_s)} \end{cases}$$

这一步骤的关键任务是寻找  $P$  成像的最佳扫描行  $L$  进而根据  $L$  确定外方位元素。最佳扫描行的确定需要迭代进行, 下文将给出一种快速寻找算法。

(3) 根据焦平面坐标  $p'(x, y)$  计算像素坐标

$$p^0(s, D) \begin{cases} p^0_s = p_0 + (p_n - p_0) \frac{p'_y - yca[p_0]}{yca[p_n] - yca[p_0]} \\ p^0_1 = L \end{cases}$$

式中,  $p_0$  为第一个 CCD 单元的像素序号,  $p_n$  为 CCD 线阵末端的像素序号。

### 5 最佳扫描行的快速搜索算法

如图 4,  $AB$  是相机焦平面上某线阵端点, 如果地面点  $P$  在  $T$  时刻成像, 则  $P$  与透视中心  $S$  的连线与焦平面的交点  $p$  必然位于  $AB$  上, 即  $p$  到直线  $AB$  的距离  $dx$  为 0, 这是判断成像扫描行的依据。针对更一般的情况, 对于任一扫描行  $T_1$  计算出的  $dx$  可以证明, 在平稳飞行的情况下  $dx$  与  $(T_1 - T)$  成正比<sup>[3]</sup>。因此, 可以采用二分法通过逐步缩小搜索窗口 (由起始行  $T_s$  和结束行  $T_e$  构成) 来最终确定最佳扫描行  $T$ , 具体步骤为:

① 给定初始搜索窗口。如果影像由  $N$  条扫描行构成, 则初始搜索窗口取为  $[1, N]$ , 即  $T_s^{(0)} = 1, T_e^{(0)} = N, T^{(0)} = N/2$ 。

② 分别利用  $T_s^{(0)}, T^{(0)}, T_e^{(0)}$  计算  $dx$  并记为





图 5 Level 0 影像的 RGB 合成  
Fig.5 RGB composed level 0 image



图 6 本文的实验结果  
Fig.6 Result of this paper



图 7 Leica GPro 软件的校正结果  
Fig.7 Result of Leica GPro software

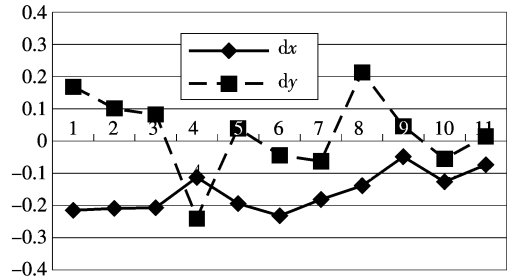


图 8 strip0404航带的误差分布  
Fig 8 Errors on check points of strip 0404

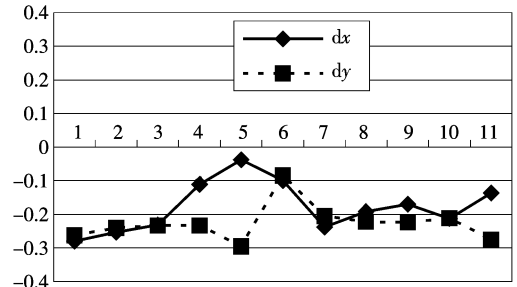


图 9 strip0412航带的误差分布  
Fig 9 Errors on check points of strip 0412

### 8 结 论

本文在对 ADS40 影像定位的数学模型进行深入分析的基础上,提出一种基于 Level0 影像的快速正射纠正算法,实验证明该算法正确、高效,能达到成图所需的定位精度。ADS40 传感器独特的成像方式以及非常规的处理流程给传统摄影测量软件提出了新的挑战,国内尚未有成熟的软件系统,对 ADS40 的数据处理理论进行深入研究将有助于中国航空数码相机技术的发展,从这个方面而言本文的研究具有较重要的理论意义。

### 参 考 文 献 (References)

[ 1 ] Tenpehnann U, Bömer A, et al Photogrammetric Software for the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor[ J]. IAPRS, 2000, 33(2): 552- 559.

[ 2 ] Leica G. ADS40 Information Kit for Third-Party Developers[ R]. San Diego, 2002.

[ 3 ] Liu J, Zhang Y S, Wang D H, et al Geometric Rectification of Airborne Linear Array Pushbroom Imagery Supported by INS/DGPS System[ J]. Journal of Remote Sensing, 2006, 10(1): 21- 26. [刘军,张永生,王冬红等. INS/DGPS支持的机载线阵推扫影像几何校正[ J]. 遥感学报, 2006, 10(1): 21- 26.]