

# GPS 在遥感信息对地定位应用中的 的试验研究

李树楷 徐昶

(中国科学院遥感应用研究所)

1991年1月30日收稿

## 摘 要

1990年7—11月由中国科学院遥感应用研究所,北京航空航天大学,清华大学,航空航天部三院,北京工业大学组成的GPS联合试验组在北京地区进行了机载GPS定位试验,取得了满意的结果。

本文从分析遥感信息对地定位的现状和存在问题入手,确定本试验研究的目标,介绍三次机载GPS飞行试验情况和取得的结果,最后展望了GPS技术在遥感中的应用前景。

**关键词** 相位差分 全球定位系统 空中后交法 动态对地定位

## 一、引 言

遥感技术及其应用的发展,越来越需要人们作出准确的定性,精确的定位,定量,快速多功能的输出。精确定位是多元、多维复合分析的基础,也是达到精确定量的基础。全球环境的研究是国际上热门课题,定性研究用的卫星图像可以买到,而定位、定量问题成为全球环境问题能否高质量研究和采用何种方法研究的关键问题之一。

就航测制图而言,遥感信息定位需庞大的地面控制点测设队伍,复杂的内业处理设备及其作业程序,以年计的成图周期。遥感图像对地定位时需查找大量的地形图去人工选读遥感图像与地形图对应的地面控制点,花大量机时作几何纠正和重采样。一景遥感图像按 $185 \times 185$ 公里的面积计,需 $1/2.5$ 万地形图约350张,地形图更新周期以十年计,十年的时间里不仅地物甚至由于开发等原因,地貌也可因人为作用发生了变化,在地形图上选点难,甚至选不出控制点的情况也常常发生。荒漠或无图区,大面积水域区,遥感图像无法定位的现象也是存在的。这与遥感快速、准确、短周期的优点是一对尖锐的矛盾。全球定位系统GPS(Global positioning system),这一高技术的研究和应用成为解决上述问题的有效途径。

GPS是早在70年代美国国防部就进行研制开发的,1992年或最迟不晚于1994年,系统全部投入运行的第二代导航定位系统。目前国际上已开展多种领域应用试验,我国在动态GPS方面的研究也已开始。

迄今为止,遥感的对地定位主要有两种方式

1. 正变换,或称空 $\rightarrow$ 地型,即传感器的位置和姿态是具有足够精度的已知数据。利用简单的变换关系式将遥感信息定位于相应的地面坐标系中。

2. 逆变换,即利用地面控制点建立图像坐标系与地面控制点坐标系间的变换关系,把

遥感图像依地面控制点强制定位于地面控制点坐标系中,这是现行的方法。这种方法的突出问题是需要地面控制点。

本试验研究从遥感信息对地定位精度,实时性的多档次出发,探求在下述三个方面应用的可能性。

1. 常规遥感信息的对地定位。精度以像元计,一般以十天或月计周期内提供定位数据。经事后处理,实现正变换方式,遥感信息直接地学编码化(定位化),无需地面控制点或需极少地面控制点。按周期论称之为准动态。

2. 灾害监测遥感图像的对地定位。一般以小时计的周期内提供定位数据。在几小时内将灾情监测遥感图像及分析结果提供防灾救灾指挥机关,以利防灾救灾和灾情监测(包括预警)。可称为中动态定位。

3. 实时遥感数据获取,实时处理综合系统中的对地定位子系统。是当今遥感信息对地定位的前沿。即实时获取数据,实时定位、实时处理的综合系统。由于是实时定位,称为实时动态。

这三种情况均需获取传感器的准确位置与姿态数据。使遥感图像的定位脱离过去以地形图等地面控制数据源而实现正变换对地定位。所以研究 GPS 定位理论,方法和精度具有非常实用的意义。

## 二、GPS 全球定位系统的航空飞行试验

1990年7月28日,8月17日,11月3日在北京地区进行了三次机载 GPS 全球定位系统的飞行试验。

### 1. 试验条件

1) 主要仪器设备。

a. GPS 接收机,采用美国天宝(TRIMBLE)导航公司的 TANS PATHFINDER 导航型 GPS 接收机两台。它是一种中等动态型二通道 GPS 接收机,最多可跟踪八颗卫星,其性能指标为:

数据更新率:	1 次/秒(典型值)
第一次定位时间:	<2 分钟,二维定位(典型值) <3 分钟,三维定位(典型值)
精度:	定位 25 米(SEP) 速度 0.2 米/秒
动态范围:	速度 0—300 米/秒 加速度 2 米/秒 <sup>2</sup>

b. 2 台 WM101 GPS 接收机(地面控制测量用)

c. RC-10 航空相机和 AΦA-TΦ 相机各一台

d. E<sub>2</sub> + DM503 电子经纬仪一台,红外测距仪一台。

e. 运五型飞机一架。

2) 试验场: 建立了 3 × 1 公里的专用试验场。试验场中央是一条 3 公里长, 40 米宽

的公路,公路上以 250 米等间隔布设了 13 个标志点,其中  $P_1, P_2, P_7$  点用两台 WM101GPS 接收机测定,作为主控点,13 个标志点连成主控导线。以主控导线为基础,在公路左右约 250 米处,布设了 17 个控制点,并铺以  $50 \times 50$  厘米的黑纸标记。用红外测距仪和电子经纬仪完成了 30 个控制点的联测任务。经整体平差后控制点精度为 0.2 米。点位分布见图 1。

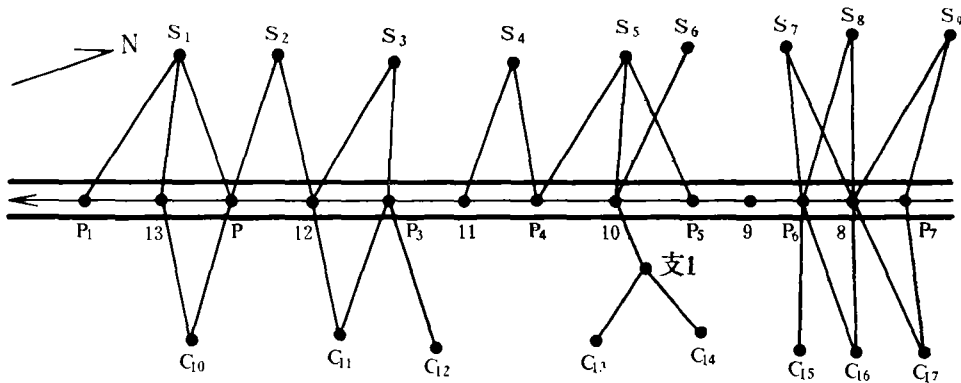


图 1 地面控制点分布图

Fig. 1 Map of the ground control points

## 2. 飞行试验过程

第一次飞行主要验证了 TANS GPS 接收机的性能,第二次飞行,航高 600 米,使用 RC-10 相机,  $f = 152$  毫米,曝光时间  $1/200$  秒,航向重叠 60%,巡航速度 150 公里/小时,像片比例尺为 1:4000。共飞 5 条航线,60 张像片。由于正处美国调整卫星参数期间(3—8 月),且只完成二维定位。第三次试验飞行,航高 600 米使用 AΦA-TЭ 相机,  $f = 98.499$  毫米,曝光时间  $1/100$  秒,航向重叠 80%,巡航速度 130 公里/小时,像片比例尺 1:6000,共飞三条航线 50 张像片。

## 3. 实验期间卫星分布状况

在 11 月 3 日 9 时 50 分,天空中可见星共 6 颗,为 2,9,12,13,14,18 号。选择 2, 12, 13,14 号星时,PDOP (表示卫星几何图形强度的一种指标)值为 2.86,之后 PDOP 值逐渐减小,在 10 时 45 分为 2.36。这期间卫星分布情况良好,由几何分布因子引起的误差影响较小。

## 三、数据处理

数据处理流程见图 2。

1) 摄影测量室内量测及空中后交解求相机投影中心的外方位元素 ( $X, Y, Z, \varphi, \omega, \kappa$ )。以试验场 30 个地面实测点作为像片控制点,像片量测用 PSK-2 精密立体坐标量测仪。以 5 微米精度量测像片坐标,使用通常的空中后交程序,在 ALTOS-68000 微机上,求出投影中心外方位元素(见表 3)。空中后交精度为 0.7 米。以三个线元素值 ( $X, Y, Z$ )作为评定 GPS 定位数据精度的基准。

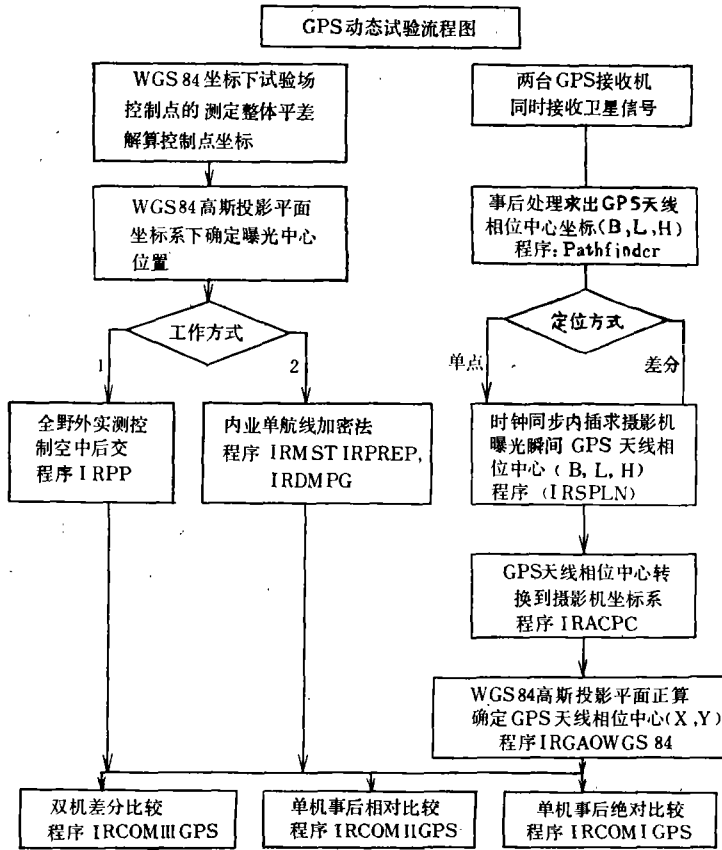


图 2 GPS 动态定位试验流程图

Fig. 2 GPS dynamic positioning experimental program map

2) 相机投影中心与 GPS 接收机天线中心偏差向量的确定。TANS GPS 接收机分为三部分,即天线, CDU, TANS。飞行前, GPS 接收机天线安置在飞机外壳顶端。并尽可能安在相机中轴线上。飞行前需要量测 GPS 接收机天线中心与相机投影中心的三维坐标偏差。其值为:

$$\Delta X = 0.449 \text{ 米}, \Delta Y = 0.016 \text{ 米}, \Delta Z = 1.785 \text{ 米}$$

每张像片的外方位元素由空中后交计算成果中得出,见表 1。天线的偏差向量示于图 3。其变换关系用矩阵表示为:

$$\begin{bmatrix} \Delta X_{AC} \\ \Delta Y_{AC} \\ \Delta Z_{AC} \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_A - X_C \\ Y_A - Y_C \\ Z_A - Z_C \end{bmatrix}$$

其中M为投影中心的外方位矩阵

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{bmatrix} + M^T \begin{bmatrix} \Delta X_{AC} \\ \Delta Y_{AC} \\ \Delta Z_{AC} \end{bmatrix}$$

$$M = R_\varphi R_\omega R_\kappa = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}$$

其中:  $a_1 = \cos \varphi \cos \kappa - \sin \varphi \sin \omega \sin \kappa$ ,  $b_1 = \cos \omega \sin \kappa$ ,  $c_1 = \sin \varphi \cos \kappa + \cos \varphi \sin \omega \cdot \sin \kappa$ ,  $a_2 = \cos \varphi \sin \kappa - \sin \varphi \sin \omega \cos \kappa$ ,  $b_2 = \cos \omega \cos \kappa$ ,  $c_2 = -\sin \varphi \cos \kappa + \cos \varphi \sin \omega \cos \kappa$ ,  $a_3 = -\sin \varphi \cos \omega$ ,  $b_3 = -\sin \omega$ ,  $c_3 = -\cos \varphi \cdot \cos \omega$ , 转换后偏差分量结果见表 2。

3) 曝光瞬间 GPS 天线相位中心坐标  $(B, L, H)$  求算。用摄影测量方法验证 GPS 定位精度, 其关键问题是摄影机与 GPS 接收机的时间同步问题。由于所用 TANS GPS 接收机没有与摄影机接口, 本次试验使用可显示 1/100 秒的电子表, 并在中国科学院北京天文台用世界时校准。以电子表取代摄影机中的记时钟表, 曝光时将钟表显示摄影在胶片上。GPS 接收机输出数据的更新率为 1 次/秒。以每张像片曝光瞬间的世界时, 在 GPS 输出数据中内插出相应于每张像片投影中心时刻的天线相位中心坐标  $(B, L, H)$ , 见图 4。加天线中心与投影中心偏差改正数, 为投影中心 GPS 定位最终的成果数据。

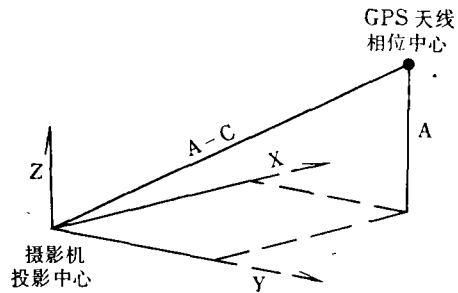


图 3 天线与曝光中心相对位置  
Fig. 3 Relative distance between antenna center and perspective center

表 1 像片外方位元素  $\psi, \omega, \kappa$  值  
Table 1  $\psi, \omega, \kappa$  Values

	$\psi$	$\omega$	$\kappa$
1	-0.1722	-0.1376	-2.1761
2	-0.1101	-0.1236	-2.2759
3	0.0673	-0.0938	-2.1488
4	-0.0772	-0.1484	-2.0662
5	-0.0895	-0.1611	-2.0570
6	-0.1072	-0.0450	-2.0570
7	-0.9679	-0.0641	-2.0677
8	-0.1010	-0.0641	-2.0677
9	-0.0751	-0.0245	-2.0920

4) WGS84 高斯投影平面上各坐标值的计算, 野外实测地面控制点是在 WGS84 高斯投影平面坐标中进行, 相应的空中后交计算也是在相同坐标系中进行。WGS84 椭球参数采用国际大地测量与地球物理联合会第十七届大会大地测量推荐常数: 长半轴  $A = 6378137$  米  $\pm 2$  米, 地球引力参数  $G = 39986005 \times 10^8$  米<sup>3</sup>秒<sup>-2</sup>, 规格化二阶带球谐参数  $C_{2,0} = -484.16685 \times 10^{-6}$ , 地球角速度  $W = 7292115 \times 10^{-11}$  弧度/秒。

表 2 天线中心与摄影机曝光中心的三个偏差分量

Table 2  $\Delta\bar{X}_{AC}, \Delta\bar{Y}_{AC}, \Delta\bar{Z}_{AC}$  Values

(单位: 米)

	$\Delta\bar{X}_{AC}$	$\Delta\bar{Y}_{AC}$	$\Delta\bar{Z}_{AC}$
1	0.810	0.247	1.820
2	0.120	0.326	1.812
3	-0.03	0.557	1.744
4	0.139	0.392	1.797
5	0.166	0.385	1.797
6	-0.13	0.257	1.822
7	-0.071	0.336	1.809
8	0.158	0.370	1.800
9	0.086	0.379	1.800

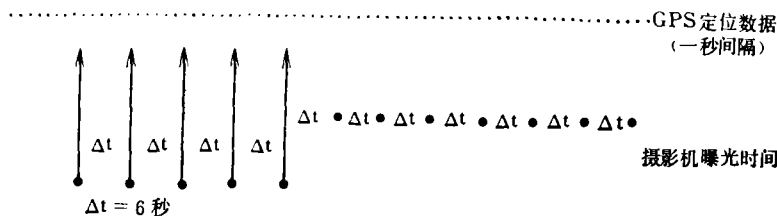


图 4 内插曝光时间原理图

Fig. 4 Interpolating principle map

表 3 TANS GPS 动态测量试验数据分析(2#航带、单机伪距测量)

Table 3 Experimental Data Analysis of TANS GPS Dynamic Measurement

(单位: 米)

序号	时 间	X		$\Delta X$	Y		$\Delta Y$	H		$\Delta H$
		$X_{AC}$	$X_{PC}$		$Y_{AC}$	$Y_{PC}$		$H_{AC}$	$H_{PC}$	
1	10:58:57.85	7927.810	7920.084	7.726	4122.683	4133.179	-10.496	592.036	572.132	0.096
2	10:59:04.05	7748.346	7741.158	7.188	4033.486	4039.870	-6.384	585.830	584.918	-6.91
3	10:59:09.65	7579.743	7570.929	8.814	3942.709	3949.836	-7.127	588.596	592.052	3.456
4	10:59:16.75	7394.384	7385.887	8.461	3855.260	3860.257	-4.997	581.238	582.597	1.359
5	10:59:21.55	7999.170	7992.166	7.004	3769.650	3777.985	-8.335	586.652	585.597	-1.05
6	10:59:27.05	7021.951	7014.139	7.812	3689.329	3700.792	-11.463	598.837	597.368	-1.47
7	10:59:33.05	6851.362	6841.970	9.392	3606.853	3611.457	-4.604	594.092	595.850	1.758
8	10:59:39.05	6681.663	6674.012	7.651	3479.810	3480.526	-0.716	589.796	588.044	-1.59
9	10:59:44.65	6532.056	6516.081	7.475	3348.352	3355.447	-7.095	610.916	604.337	-6.57
	均值			8.000			-6.75			-0.54
	中误差			7.982			7.451			2.725

注  $X_{AC}, Y_{AC}, H_{AC}$  为曝光时刻 GPS 定位数据  $X_{PC}, Y_{PC}, H_{PC}$  为空中后交求得的投影中心坐标。

5)GPS 定位数据与空中后交数据的比较示于表 3。由 GPS 数据恢复的航迹示于图 5。

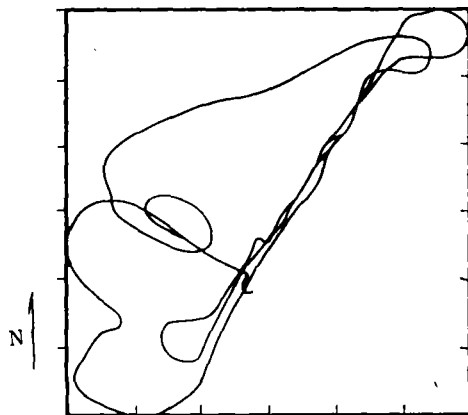


图 5 GPS 数据航迹恢复图

Fig. 5 Flight path map of GPS data

#### 四、试验结果分析

本次试验较理想地实现了单台 GPS 接收机动态定位精度评估,从表 3 可知: X 方向中误差为 7.982 米, Y 方向中误差为 7.451 米, Z 方向中误差为 2.725 米。

试验结果中,由于天线中心与投影中心偏差较小未计入。电子表虽有 1/100 秒的精度,但当飞机巡航速度快时,1/100 秒将有 1.1 米误差产生(巡航速度为 400 公里/小时)。对于高定位精度的接收机验证时,以有同步脉冲接口为好。以分米级的地面控制精度和 0.7 米精度的空中后交方法,验证标称 25 米单机定位精度的 GPS 机,其验证方法的精度是足够的。

通过本次试验研究及取得的试验成果可知:

1. 以本试验研究所得到的单机 GPS 定位精度约为 8 米以内的精度指标可知, GPS 动态定位技术完全可以用于灾害监测机载遥感实用系统中作为对地定位子系统。

2. 采用现有精度高的 GPS 接收机,以差分技术实现无地面控制的航空遥感图像对地定位(以专题图精度)是可能的。

3. 美国政府加快了 GPS 系统的推进速度,到 1992 年 24 颗工作卫星全部上天。全地域利用将成为现实。加之高动态、高精度廉价的 GPS 接收机也已出现。特别是采用实时及事后差分技术,可消除美国政府的选择使用性 SA 政策使对地定位精度恶化的影响。GPS 与惯性导航系统(INS)的组合使用,将会更完善地解决传感器投影中心(或脉冲发射中心)的位置与姿态的实时快速高精度测量。GPS 动态遥感信息对地定位系统完全取代现有对地定位技术的变革性进展前景是可以想见的。

4. 本试验研究成果可扩展应用于类似精度和实时性要求的其它领域中。同时作为

GPS/INS 复合对地定位系统的初期试验,逐步形成系统,具备多档次对地定位精度的功能,以满足水域测量定位,地面勘察及车辆定位,航空及航天遥感或其它专业应用目的的需求。

### 参 考 文 献

- [1] Arkerman, Impact of GPS on photogrammetry, 3rd South East Asian Surveying Congress, 1988.
- [2] Biggs, GPS Navigation for Large-scale Photography PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING, VOL. 55, No. 12, pp.1737—1741, December 1989.
- [3] Gerlach Evaluation of GPS Instruments for Resource Management Applications, Proceedings of the First International Technical Meeting of the Institute of navigation's Satellite Division, September 21—23, 1988.
- [4] 王之卓,摄影测量原理,测绘出版社,1979。
- [5] 陈健、晁定波,椭球大地测量学,测绘出版社,1989,6。
- [6] 袁奇荪,计算机几何造型学基础,航空工业出版社,1981。

## GPS Experimental Research in Remote Sensing Information for Ground Positioning

Li Shukai Xu Chang

*(Institute of Remote sensing Application, Academia Sinica)*

### Abstract

GPS cooperative experimental research group by the Institute of Remote Sensing Application Chinese Academy of Sciences, Peking University of Aeronautics and Astronautics, Qing-Hua University, the 3rd Academy of Aeronautics and Astronautics Department, Beijing Industry University has done airborne GPS experiment in Beijing from July to November in 1990.

In this paper, Analyses existing question of remote sensing information for ground positioning and gives experimental research aim, introduces three airborne GPS flight experiments. At last, forecasts GPS technical application future in remote sensing.

**Key words** Differential corrections Global positioning system Rectification Dynamic Positioning