

文章编号 :1007 - 649X(2001)02 - 0089 - 03

# GPS 控制点在公路电子地图中的应用

牟乃夏, 钟士金, 王复明, 乐金朝

( 郑州工业大学水利与环境工程学院 河南 郑州 450002 )

摘 要 : 电子地图是地理信息系统 (GIS) 的基础 , 在电子地图的制作过程中 , 为实现从地图的平面坐标到大地坐标再到屏幕坐标的转换 , 必须利用控制点的地理坐标 . 在实际操作过程中 , 控制点的地理坐标常用 GPS ( 全球定位系统 ) 测量获得 . 根据 GPS 在河南省公路电子地图制作中的使用情况 , 讨论了 GPS 控制点在矢量数据导出、坐标转换中的应用 . 并以孟津县和偃师市为例 , 说明了 GPS 控制点在地图数据转换、地图拼接中的作用 .

关键词 : 全球定位系统 ; 电子地图 ; 控制点 ; 地理信息系统

中图分类号 : P 208 文献标识码 : A

## 0 引言

公路管理部门在日常的养护、管理中 , 经常需要对公路数据进行查询、检索、统计和分析 . 随着国家对公路投资的加大 , 公路新建、改建、扩建的里程日益增多 . 传统的管理手段效率低 , 检索、查询不便 , 已经不能满足公路部门日常管理的需要 . 基于地理信息的电子地图不仅可以借助于计算机对公路数据实行快速的管理 , 而且可以实现数据的可视化 , 使枯燥的数据管理变得直观方便 .

GPS ( Global Positioning System ) 是美国海陆空三军联合研制第二代卫星导航系统<sup>[1]</sup> . 该系统具有全能性 ( 陆地、海洋、航空、航天 ) 、全球性、全天候、连续性和实时的导航、定位、定时的功能 , 能为各类用户提供精密的三维坐标、速度和时间信息 . 该系统由 GPS 卫星、地面监控系统、用户接收机 3 部分组成 , 其定位精度高 , 观测时间短 , 测站间无需通视 , 操作简便 , 能全天候作业 . GPS 在绝对定位时和 GLONASS ( 俄罗斯的定位与导航卫星 ) 联测 , 定位精度一般用户可达 16 m . 工程中广泛应用的是相对定位 , 即多台接收机在不同的地点同时接受信号 , 确定接收机之间的相对位置 . 通过平差计算可以得到测点精确的地理位置 . 双频接收机精度可以达到  $5\text{ mm} + 1\text{ ppm} \cdot D$  ( 两地间的直线距离 ) , 单频接收机精度可以达到  $10\text{ mm} + 2\text{ ppm} \cdot$

D . 如此高的定位精度完全能满足电子地图制作中的精度要求 .

本项目的资料较少 , 仅有一本河南省交通图集 . 该图集每幅图的比例尺不同 , 没有任何空间定位和图幅接边信息 . 实际应用中需用到地物的地理坐标 , 因此 , 电子地图制作中需用较高精度的控制点进行坐标的变换 , 使矢量化时的屏幕坐标转化为有定位信息的地理坐标 . 经过对比研究 , 我们决定选用 Ashtech Step 1 型 GPS 接收机进行控制点的大地坐标的测量 .

## 1 GPS 控制点的测量实施

为了确保能以最短的时间获取最多数量的高精度的大地坐标 , 我们对施测路线进行了认真的分析和规划 , 确定了数据测量的路线和 GPS 数据的测量流程 . GPS 测量一般分为外业测量和内业数据处理两个阶段<sup>[2]</sup> .

### 1.1 外业测量

( 1 ) 控制点的布设 : 根据实际情况 , 每个县至少布设 3 ~ 5 个控制点 , 以保证精度 . 控制点要具有明显的特征 , 如三角点、水准点、独立的地物、道路的交叉口、道路和边界的交点等 . 这些点要求几何分布良好且符合测量要求 , 如远离大片树林和水域 , 附近不能有电视发射塔和高压电线等强干扰设施 . 道路交叉口便于实施测量 , 道路和边界的

收稿日期 : 2001 - 01 - 10 ; 修订日期 : 2001 - 03 - 29

基金项目 : 河南省自然科学基金资助项目 ( 994050300 )

作者简介 : 牟乃夏 ( 1973 - ) , 男 , 山东省平度市人 , 郑州工业大学硕士研究生 .

万方数据

交点可以大量减少控制点的个数.

(2)测量实施 根据实际情况,我们决定采用静态相对测量.即一台接收机放于坐标已知的基准点(一般为国家大地控制网中的三角点),另外两台接收机在所选控制点上流动,基准点和流动点进行联测.测量分为两个时段,每个时段为15分钟.这样长的时间便能满足对控制点的精度要求.

1.2 内业数据处理

内业数据处理使用 Ashtech 公司的随机软件 GPS.数据处理包括 GPS 数据下载,基线向量解算、网平差等.基准点的坐标引入网平差可以得到高精度的大地坐标.

2 GPS 控制点的使用

矢量化的纸制地图只体现屏幕坐标,并不含有任何空间的定位信息,无法实现不同地图的拼接.矢量数据的编辑、地物的检索、查询等功能.因此必须利用控制点的坐标作为控制,进行从屏幕坐标到大地坐标的转换.常用的变换方法有:解析变换法、数值变换法和数值解析变换法等.我们使用数值变换法的多项式逼近来进行坐标的转换.举例如下:

假定某点的屏幕坐标为 $(x,y)$ ,大地坐标为 $(X,Y)$ ,任取5个点,有转换公式

令 
$$\begin{cases} X = a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2; \\ Y = b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2, \end{cases} \quad (1)$$

令 
$$\begin{cases} A = [a_1, a_2, a_3, a_4, a_5]^T; \\ B = [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5]^T; \\ X = [X_1, X_2, X_3, X_4, X_5]^T; \\ Y = [Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5]^T; \end{cases} \quad (2)$$
$$C = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 \\ x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2y_2 & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_5 & y_5 & x_5^2 & x_5y_5 & y_5^2 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

则有

$$\begin{cases} CA = X; \\ CB = Y, \end{cases} \quad (4)$$

由最小二乘法,可写成

$$\begin{cases} C^TC A = C^TX; \\ C^TC B = C^TY, \end{cases} \quad (5)$$

故 万方数据

$$\begin{cases} A = (C^TC)^{-1}C^TX; \\ B = (C^TC)^{-1}C^TY. \end{cases} \quad (6)$$

将5个点的坐标代入,便可求得系数转换矩阵,从而可利用其将所有的点都转换为大地坐标.这里用5个控制点坐标进行转换,可由式(4)直接求得转换系数矩阵.如果控制点个数多于5个,则必须用式(6)进行最小二乘法计算.

图1为河南省洛阳市孟津县和偃师市拼接后的地图(拼接误差已纠正).

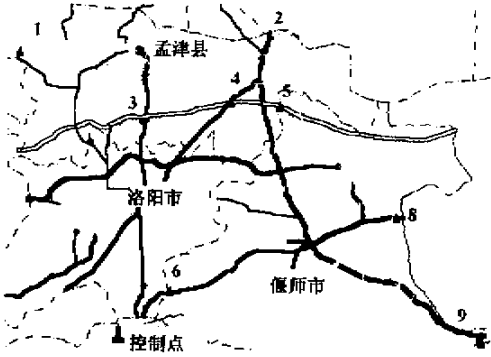


图1 孟津县、偃师市的拼接地图

Fig.1 Mengjin county with yanshi county pieced map

两县共有9个控制点,其中第5个控制点为两县共用.控制点的图幅坐标(这里为矢量化时的屏幕坐标)和转换以后的大地坐标见表1、2.

表1 孟津县坐标转换表

Table 1 The coordination transformation table of Mengjin county

控制点	图幅坐标 $(x,y)$	大地坐标 $(X,Y)$
1	185, 207	112.344572450848 34.8171059547504
2	422, 197	112.254628752572 34.9298503256045
3	280, 298	112.457002073693 34.7286599396839
4	379, 281	112.574165575394 34.7451828216194
5	435, 284	112.640439879387 34.7422670189249

表2 偃师市坐标转换表

Table 2 The coordination transformation table of Yanshi county

控制点	图幅坐标 $(x,y)$	大地坐标 $(X,Y)$
5	202, 104	112.640439879387 34.7422670189249
6	78, 349	112.490072951538 34.5245560837109
7	243, 289	112.685345454221 34.5828721376011
8	352, 259	112.814343653064 34.612030164546
9	444, 406	113.923222866767 34.4691558325145

由上述公式得孟津县坐标转换矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} -0.00949428825 & 0.92322208112561, \\ 0.00015479545212 & 0.000384653545241, \end{bmatrix}$$

$-0.0015770161234 \text{ J}^T$  ;

$B = [ -0.00065228451 \ 0.28493712451215 ,$   
 $0.000049008812344 , -0.0001312451236 ,$   
 $-0.0004829874512 \text{ J}^T$  ;

偃师市的转换矩阵为

$A = [ 1.04654343691 , -0.44725863265202 ,$   
 $-0.00088714138727 , -0.00178198736451 ,$   
 $0.00197748438768 \text{ J}^T$  ;

$B = [ 0.32380454395 , -0.13921798846806 ,$   
 $-0.00027476407 , -0.00055200111972 ,$   
 $0.0006120895800243 \text{ J}^T$ .

经过矩阵转换,两县边界的屏幕坐标变为大地坐标,因为边界为两县共有,即具有相同的地理坐标,所以可进行边界的拼接.拼接误差可用误差控制理论进行校正.洛阳市的边界为坐标精确已知的(数据向测绘部门购买).由图 1 可以看出,不仅两县的边界拼接良好,而且均和洛阳市的边界拼接良好,证明控制点的精度满足要求,而且转换系数矩阵正确.由于矢量化时每幅图相对于屏幕的位置不固定,导致坐标转换矩阵是可变的,但转化后的结果即某地物的大地坐标是固定不变的<sup>[3]</sup>.

在实际应用中,并不是控制点越多越好,主要是要保证这些控制点有良好的空间几何分布和精度,过多的控制点有可能因为个别点的偶然误差造成数据的总体转换误差.利用这些控制点可以

将数据转换为地理信息系统通用的各种数据格式,如 AUTOCAD 的 DXF 格式,MAPINFO 的 MIF 格式,ARC/INFO 的数据交换格式等,以提高所测数据的通用性.这些带有定位信息的数据可以方便地被 AUTOCAD,MAPINFO,ARC/INFO 等调用,并利用它们进行数据的编辑,属性数据的管理,图幅接边和实现层管理等<sup>[4]</sup>.

### 3 结论

GPS 因其不可替代的优点在公路地形勘测、路网规划、公路养护和智能交通中得到了广泛的应用.在控制点的测量中,不仅速度快,效率高,操作简便,而且费用低,精度高.所以,在电子地图的制作过程中用 GPS 进行控制点的测量不仅是切实可行的,而且是未来发展的趋势.

### 参考文献 :

- [1] 徐绍铨,张华海.GPS 测量原理及应用[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1998.
- [2] 张凤举,王宝山.“GPS”定位技术[M].北京:煤炭工业出版社,1997.
- [3] 李德仁,陈小明,郭丙轩,等.车载 GPS 道路信息采集和更新系统研究[J].武汉测绘科技大学学报,2000,25(2):95-99.
- [4] 刘光运,韩丽斌.电子地图技术及应用[M].北京:测绘出版社,1996.

## Applications of GPS Control Points to Road E-map

MOU Nai-xia, ZHONG Shi-jin, WANG Fu-ming, YUE Jin-chao

(College of Hydraulic & Environmental Engineering Zhengzhou University of Technology Zhengzhou 450002, China)

**Abstract** E-map is the foundation of GIS. The coordination of control points must be used in making electronic map in order to realize the coordination transformation from screen to geography and to screen again. We can get the value of the control points through GPS surveying. This paper discusses the application of GPS in the acquisition of geographic data, the export of vector data and coordination transformation according to the application of GPS in Henan Province Road E-map. It explains the application of map piecing and data transformation in Mengjin county and Yanshi county map piecing.

**Key words** global positioning system; E-map; control points; geographic information system