

GPS 定位显示中的坐标转换

韦 艳, 陈华根

(同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 坐标转换是 GPS 定位显示中重要的环节, 论述了在未知坐标系统的 GIS 底图数据情况下, 通过高斯投影、二次多项式拟合方法, 将 GPS 位置信息在含有 GIS 底图的设备上进行定位显示的过程, 讨论了误差的原因及提高精度的思路。通过验证, 证明该方法是快捷有效的。

关键词: 全球定位系统; 高斯投影; 二次多项式拟合; 坐标转换

中图分类号: P228.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3044(2010)03-0016-04

1 引 言

全球定位系统 (GPS) 定位的基本原理是根据高速运动的卫星瞬间位置作为已知的起算数据, 采用空间距离后方交会的方法, 确定待测点的位置。由于 GPS 技术所具有的高精度、全天候、测时短等特点, 使它在军事、测绘、交通、城市规划、气象预报、农业林业等各个领域得到广泛的应用。自 2000 年美国取消 SA 政策后, GPS 民用精度在全球范围内得到很大的改善, 利用 C/A 码进行定位的精度也大幅度提高到 20m, 从而推动了 GPS 技术的应用, 促进各个产业的发展^[1,2]。

地理信息系统 (GIS), 是由计算机硬件、软件和不同的方法组成的系统, 该系统设计支持空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示, 以便解决复杂的规划和管理问题^[3]。

无论是测量型 GPS, 还是 GPS 车载导航, 都要结合 GIS 底图实现定位显示及道路规划, 而坐标转换则是实现 GPS 定位在 GIS 底图上的重要环节。由于 GPS 接收机采集到的定位数据是经纬度数据, 采用 WGS 84 坐标系统; GPS 接收到的数据在很多情况下需要落实到未知坐标系统或特定坐标系统的地理底图上, 这样必定需要首先解决坐标转换问题才能为下一步的 GPS 与 GIS 有机结合创造条件。本文的研究内容就是通过坐标转换技术来实现 GPS 采集的点在未知坐标系统的 GIS 底图上的定位和显示, 为 GIS 和 GPS 相互结合提供基础条件。

2 基本原理

2.1 GPS 数据坐标系统

GPS 卫星定位系统采集到的坐标 (B, L, H) 是世界大地坐标系 (WGS 84) 的坐标。其中, 坐标原点为地球质心, B 为纬度, L 为经度, H 为大地高, 即是到 WGS 84 椭球面的高度, 属于地心坐标系^[4]。

因为现有 GIS 底图数据只有横纵坐标二维数据, 而没有高程信息, 所以本文只使用 GPS 接收机采集到的经纬度数据。

2.2 GIS 底图数据坐标系统

本次研究所使用的 GIS 底图数据是上海市地图数据, 为 ESR I 公司的 ArcGIS 产品数据, 数据坐标系统已丢失, 因而需要对 ArcGIS 产品数据的坐标系统进行理解。在此, 需要明确 ArcGIS 中地理坐标系与投影坐标系的区别。

(1) 地理坐标系 (geographic coordinate system), 是以经纬度为地图的存储单位的, 是球面坐标系统。地球是一个不规则的椭球, 将数据信息以科学的方法存放到一个椭球上。这个椭球体的特点为: 可以量化计算, 具有长半轴、短半轴、偏心率等。然而有了这个椭球体之后, 还需要一个大地基准面将这个椭球定位, 也就是说把椭球体展开。

(2) 投影坐标系 (projection coordinate system), 投影的意义: 将球面坐标转化为平面坐标的过程便称为投影, 也就是说, 要把地理坐标系统的椭球体展开成一个平面, 则投影坐标之前需要有球面坐标, 然后才能使用算法去投影, 最后得到平面坐标, 即每一个投影坐标系统都必须要求有球面坐标系统参数。

我国地图的坐标系统 (即投影坐标系统) 大多采用 1980 西安坐标系或者 1954 北京坐标系, 两者

收稿日期: 2009-06-03; 修回日期: 2009-09-11

作者简介: 韦 艳 (1984-), 女, 广西平果人, 硕士, 主要从事地理信息系统、全球定位系统研究。

采用的投影一般都为高斯 - 克吕格投影,而两者所采用的椭球体不一样(即地理坐标系不一样),1980西安坐标系采用的是 IAG75地球椭球体,1954北京坐标系采用的是克拉索夫斯基椭球体。

2.3 设备屏幕坐标系

在忽略地图数据高程坐标的情况下,把地图数据描绘在 PDA 设备屏幕上时,虽然都属于平面直角坐标,但是地图数据所对应的坐标与设备坐标不是一一对应的,PDA 设备显示上使用的是屏幕坐标系,其 x 轴正向为屏幕水平向右, y 轴正向为垂直向下,坐标原点在屏幕左上角。

2.4 坐标转换

进行不同坐标系之间的转换,首先要求出坐系统之间的转换参数,而转换参数通常要利用重合点的两套坐标值通过一定的数学模型进行计算。而现有的地图数据坐标系已丢失,则不能采用转换参数来进行坐标系统的精确转换。

本文对坐标系转换作了如图 1 的转换方式。

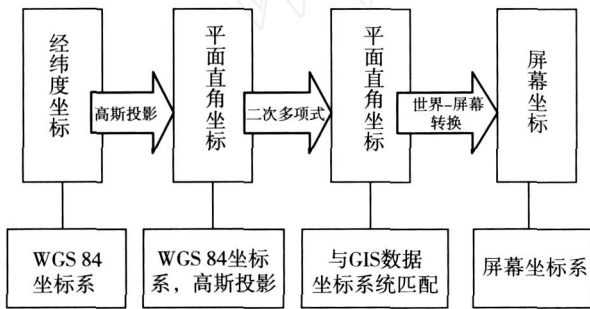


图 1 坐标转换

图 1 中,上层流程中的经纬度坐标表示 GPS 接收机采集到的经纬度数据,平面直角坐标、屏幕坐标这两个表示经过转换后变成的坐标数据。高斯投影、二次多项式及世界 - 屏幕坐标转换都表示所使用的转换方法。下层流程中表示其对应的上层坐标数据使用的坐标系。

下面分别介绍高斯投影、二次多项式及世界坐标到屏幕坐标的转换。

2.4.1 高斯投影正算公式

从 (L, B) 转换为 (x, y) 的高斯投影公式为:

$$\begin{aligned} x &= X + \frac{N}{2} t \cos^2 B \bar{l}^2 + \frac{N}{24} t \cos^4 B (5 - \bar{l}^2 + 9 \bar{l}^2 + 4 \bar{l}^4) \bar{l}^4 + \frac{N}{720} t \cos^6 B (61 - 58 \bar{l}^2 + \bar{l}^4 + 270 \bar{l}^2 - 330 \bar{l}^2 \bar{l}^2) \bar{l}^6 \\ y &= N \cos B l + \frac{N}{6} \cos^3 B (1 - \bar{l}^2 + \bar{l}^2) \bar{l}^3 + \frac{N}{120} \cos^5 B (5 - 18 \bar{l}^2 + \bar{l}^4 + 14 \bar{l}^2 - 58 \bar{l}^2 \bar{l}^2) \bar{l}^5 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{卯酉圈曲率半径: } N = a^2 / (b \sqrt{1 + e^2 \cos^2 B})$$

$$\text{辅助变量: } \bar{l}^2 = e^2 \cos^2 B$$

$$\text{第二偏心率平方: } e^2 = (a^2 - b^2) / b^2$$

$$\text{椭球点经度与相应中央子午线之差: } l = L - L_0$$

$$\text{辅助变量: } t = \tan B$$

式中, a 和 b 分别为参考椭球的长短半径; X 为赤道至纬度为 B 的子午线弧长^[6]。

2.4.2 完整二次多项式拟合

由于未知地图坐标系与经纬度数据经高斯投影后的坐标系不一致,但因它们同样是平面直角坐标,从而可使用完整二次多项式对两者进行拟合。完整二次多项式是平面坐标系间的一种变换方式,其拟合精度相对较高^[7]。

下面是完整二次多项式变换公式(式中 (u, v) 及 (x, y) 对应两坐标体系, $a_0 \sim a_5$ 及 $b_0 \sim b_5$ 为待定系数):

$$\begin{aligned} u &= a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 \\ v &= b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2 \end{aligned} \quad (2)$$

由上式可看出,二次多项式有 12 个参数,那么至少需要 6 对控制点来求取相应的未知转换参数。

2.4.3 世界坐标系转屏幕坐标系

现有地图数据的坐标系在相对于设备坐标来说叫世界坐标系,即真实的坐标,而在设备上绘图时,设备上使用的是屏幕坐标系,这两个坐标系统在原点的位置和方向如下:

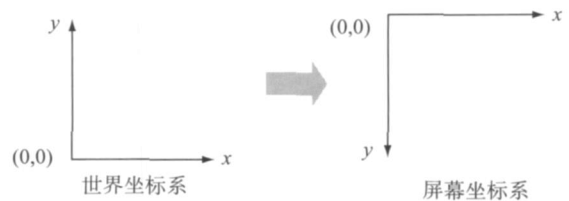


图 2 世界坐标系与屏幕坐标系

下面以图文方式解释世界坐标系转换到屏幕坐标系的过程。其中, (X_w, Y_w) 是世界坐标系中一点坐标, (X_v, Y_v) 是其在屏幕坐标系中的坐标, $(W_xl, W_yb) \sim (W_xr, W_yt)$ 是感兴趣的绘图区域, $(V_xl, V_yb) \sim (V_xr, V_yt)$ 是屏幕上显示图形的区域。

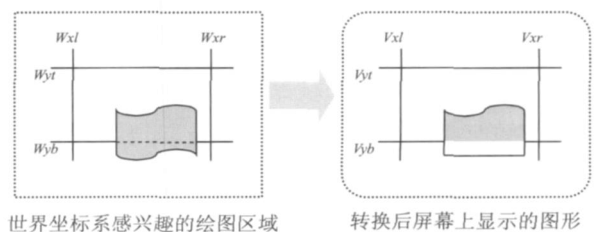


图 3 世界坐标系与屏幕坐标系转换示意图

由屏幕坐标的原点及方向设置可知, $V_{xl} < V_{xr}$, $V_{yb} > V_{yt}$ 。令

$$\begin{aligned} Vwidth &= V_{xr} - V_{xl} \\ Vheight &= V_{yb} - V_{yt} \\ S_x &= (W_{xr} - W_{xl}) / Vwidth \\ S_y &= (W_{yt} - W_{yb}) / Vheight \end{aligned}$$

式中, $Vwidth$ 是窗口的宽度; $Vheight$ 是窗口的高度; S_x 和 S_y 分别是 X 方向和 Y 方向的比例参数。只有 $S_x = S_y$ 时, X 方向和 Y 方向的变形相同, 变形后图形形状保持不变, 设定一个变量 $Scale$, 取为 S_y 、 S_x 中比较大的一个的倒数, 以确保图形都显示在屏幕范围内。最后得到世界坐标到屏幕坐标的转换公式为^[8]:

$$\begin{aligned} X_v &= \text{int}((X_w - W_{xl}) * Scale) + V_{xl} \\ Y_v &= \text{int}((W_{yt} - Y_w) * Scale) + V_{yt} \end{aligned} \tag{3}$$

3 转换过程

由图 1 及坐标转化原理可知, 当前可实现从经纬度坐标经高斯投影向平面直角坐标转换; 同样, 由于设备屏幕参数和 GIS 底图数据的范围可知, 从而可以实现从平面直角坐标经过世界 - 屏幕坐标转换得到屏幕坐标, 从而可实现 GPS 定位; 但由于二次多项式的 12 个未知参数未解决, 从而中间步骤的平面直角坐标经过二次多项式拟合得到平面直角坐标还未知, 在此, 首先要先求出 12 个未知参数。

(1) 获取 GPS 坐标系控制点: 传统的获取控制点的方法是直接购买测绘部门经过长期测量得到的数据, 但这需要较高的费用; 当然也可以直接使用现有 GPS 接收机在上海市区内进行测量得到数据, 但这种方法费时费力; 鉴于上述两种获取方法的局限性及考虑到现在计算机软件的发展, 采用 Google 公司的 Google Earth 产品对控制点数据进行获取。由于 Google Earth 上的经纬度数据采用的是与 GPS 一致的 WGS 84 坐标系统, 且该产品进行了长期的测试以及较快的更新, 其准确率相对其他互联网软件的数据精度较高, 因而利用 Google Earth 获取控制点是一种省事省力又能达到好效果的方法。

该获取步骤为从 Google Earth 地图上的上海外环以内适当选取 6 对控制点 (L, B) 。

(2) 高斯投影: 将 6 对控制点的经纬度数据 (L, B) 进行高斯投影得到平面坐标 (x, y) 。

(3) 选取 GIS 底图控制点: 在现有地图数据上选取与 Google Earth 上相对应的 6 对控制点坐标 (u, v) 。

(4) 求解未知参数: 利用 Matlab 通过公式 (2) 进

行完整二次多项式拟合计算出 12 个未知参数 $a_0 \sim a_5$ 及 $b_0 \sim b_5$ 。

在得到 12 个未知参数后, 可得到完整的坐标转换计算过程: 利用公式 (1) 将 GPS 定位数据 (L, B) 进行高斯投影得到平面坐标 (x, y) , 然后利用公式 (2) 将 (x, y) 进行二次多项式拟合得到 (u, v) , 最后使用公式 (3) 将数据 (u, v) 转化成为屏幕坐标数据 (X_v, Y_v) , 从而显示在屏幕上。

4 精度讨论及验证

对于地图数据与 GPS 定位数据的对准精度问题, 主要受到以下几个方面影响:

(1) GPS 机收机接收数据时产生的误差具有不可忽略的影响, 本文所用的 GPS 接收机为普通民用型接收机, 其误差平均分布在 10m 左右。

(2) 使用 Google Earth 上已知点计算拟合参数, 虽然 Google Earth 上的经纬度由于测试时间久, 其准确率相对较高, 但它与系统所用的接收机相对比, 又是使用的不一样的接收机, 因而拟合的参数从接收机对应性上来说准确率下降。

(3) 在 GIS 底图上找与 Google Earth 上的控制点相对应的点时存在人为的视觉偏差, 偏差可能会有几米到几十米。这会使参数的准确性极大下降。

(4) 由于 Google Earth 与地图数据的局限性, 使控制点选取数目有限, 控制点选择分配不均, 从而配准精度下降。

(5) 使用任何拟合方法都会产生误差。在本文中二次拟合方程只是其中一种方法, 可以根据不同情况采用不同的拟合方程, 只要达到计算简便快捷同时保证定位精度的目的即可。在使用二次拟合方程解算过程中只给拟合参数保留了一定的位数, 因而转换后的数据会与地图数据存在一定的误差。

整个坐标转换过程是一个系统, 相互之间有误差传递, 需要在转换过程中严格保证每个过程的精度要求。

基于以上因素的情况下, 最后选取两点做验证, 结果见表 1。

表 1 配准精度验证表

点位	经纬度 (°)	经纬度来源	坐标转换后 (m)	地图上的坐标 (m)	差距 (m)
上海科技馆	$L = 121.538$ $B = 31.221$	Google Earth	$X = 6792$ $Y = -1534$	$X = 6812$ $Y = -1512$	$x = 20$ $y = 22$
同济图书馆	$L = 121.499$ $B = 31.285$	Google Earth	$X = 3075$ $Y = 5536$	$X = 3085$ $Y = 5544$	$x = 10$ $y = 8$

5 结束语

本文通过对 GPS、GIS及设备屏幕坐标系统的理解,针对丢失坐标系统的 GIS底图数据,使用高斯投影、二次多项式拟合及世界-屏幕坐标转换,实现了 GPS数据在含有 GIS底图的 PDA 设备上的定位显示,最后通过精度讨论及验证可知,该转换过程是一种快捷有效的方法。

对于 GPS定位到未知坐标系统的 GIS底图上,采用本文的坐标转换技术具有通用性,不仅在 PDA上,也可在所有与地理底图有关的 GPS导航系统中得到应用。在选取适当的控制点的情况下,该方法可达到较好的效果。本文抛弃传统获取控制点的方法,有效利用 Google Earth的优势来获取控制点,使实现过程省时省力,同时避免了费用的过多支出。

参考文献:

- [1] 李天文. GPS原理及应用 [M]. 北京:科学出版社, 2003
- [2] 贺英魁. GPS测量技术 [M]. 北京:煤炭工业出版社, 2007. 5~6
- [3] 黄杏元,马劲松,汤勤. 地理信息系统概论 [M]. 北京:高等教育出版社, 2001. 3~4
- [4] 程连柱. 几种常用的 GPS坐标转换方法 [J]. 光盘技术, 2008, (4): 52~53
- [5] 孙祥元. 控制测量学 [M]. 北京:高等教育出版社, 2002. 56
- [6] 陈建,陶本藻. 大地形变测量学 [M]. 北京:地震出版社, 1987. 383~391
- [7] 罗德安,廖丽琼. 一种车载 GPS系统坐标转换公式及应用 [J]. 西南交通大学学报, 2001, 36(4): 365~368
- [8] 孙以义. 计算机地图制图 [M]. 北京:科学出版社, 2000. 25~27

The Coordinate Transformation for GPS Location and Display

WEI Yan, CHEN Hua-gen

(State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, 200092)

Abstract: The coordinate transformation plays an important role in the demonstration of GPS localization. The article elaborates the positioning process of the GPS data on the unknown-coordinate-system GIS base map through Gauss projection and two polynomial fitting methods, then the reasons of errors and the way to improve the precision are discussed. Finally, this method is proved by some applications.

Key words: GPS; Gauss projection; two polynomial fitting; coordinate transformation

(上接第 15 页)

Error Sources of Satellite-borne GPS and Accuracy Analysis of Precise Orbit Determination

KONG Qiao-li^{1,2}, HAN Li-tao¹

(1. Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong, 266510;

2. Key Laboratory of Dynamic Geodesy, Chinese Academy of Science, Wuhan, Hubei, 430077)

Abstract: A variety of error sources have great impacts on the precision of satellite orbit determination when GPS data onboard LEO (low earth orbiter) are used. The error sources of GPS data onboard CHAMP are analyzed, and the precise orbit determination results are compared with the precise scientific orbit products released by German GFZ. The experimental results show an error analysis basic for precise orbit determination of CHAMP satellite.

Key words: satellite-borne GPS data; error sources of GPS data; precise orbit determination; CHAMP