

WGS84 和 BJ54 坐标转换问题探讨

李连伟¹, 荣燕妮²

(1. 华东师范大学地理学系, 上海 200062; 2. 山东师范大学地理系, 山东 济南 250014)

摘要:重点介绍 WGS84 和 BJ54 坐标及其空间转换思想和转换模型, 探讨七参数转换方法、转换模型以及基于 Delphi 语言的计算机实现。

关键词:GPS; 坐标系; 转换模型; 程序设计

中图分类号:P 282.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-5867(2004)01-0043-03

Discussion of the Coordinate Transformation between WGS84 and BJ54

LI Lian-wei¹, RONG Yan-ni²

(1. Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Department of Geography, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: This paper introduces the coordinate system between WGS84 and BJ54, and introduces the ideas of spatial transformation and the model of transformation. This paper also introduces the method and the model of transformation of seven-parameter. At last, this paper introduces the program how to come true by using Delphi.

Key words: GPS; coordinate system; model of transformation; programming

0 引言

随着 GPS 定位精度的不断提高, GPS 技术在各种测量中的应用也越来越广泛。但是 GPS 测量得到的坐标是 WGS84 坐标, 只能表示在 WGS84 坐标系中。WGS84 坐标系是一种质心坐标系, 其坐标原点位于地球的质心上。我国的国土测量成果和在进行工程施工时大都采用 BJ54 坐标系, 该坐标系是一种参心坐标系, 采用克拉索夫斯基椭球为参考椭球, 并采用高斯-克吕格投影(等角横切圆锥投影)方式进行投影。如何实现 WGS84 地心空间直角坐标系与 BJ54 平面直角坐标系之间的转换, 一直是各个部门关心的热点。

在进行 WGS84 坐标系和 BJ54 坐标系转换时有两种转换思想和模型, 即平面转换模型和空间转换模型。在平面转换模型中, 首先要假定两种坐标系的中心和坐标轴的方向一致, 所以只适合小范围内国土测量和工程设计使用, 要进行大范围的 GPS 测量应该使用空间转换模型。本文将重点介绍空间转换思想和转换模型。

1 坐标系

所谓坐标系指的是描述空间位置的表达形式, 即采用什么方法来表示空间位置。人们为了描述空间位置, 采用了多种方法, 从而也产生了不同的坐标系。在各种测量中, 经常使用的坐标系有 3 种类型。

1.1 空间直角坐标系

空间直角坐标系的原点位于参考椭球的中心, Z 轴指向参考椭球的北极, X 轴指向起始子午面与赤道的交点, Y 轴位于赤道面上, 且按右手系与 X 轴呈 90° 夹角(见图 1)。

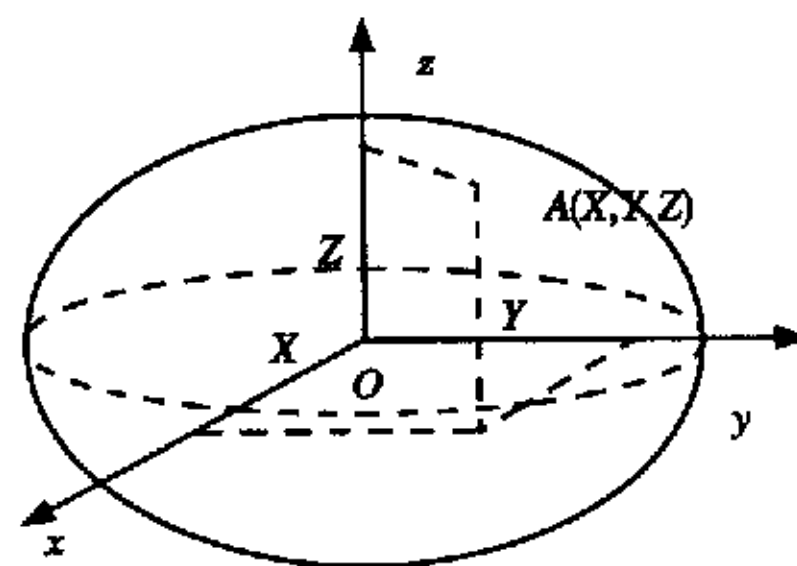


图 1 空间直角坐标系

Fig. 1 Spatial rectangular coordinate system

收稿日期: 2003-09-20

基金项目: SIG 的城市(上海)空间信息服务系统(2002AA134020)

1.2 空间大地坐标系

空间大地坐标系是采用大地经纬度和大地高来描述空间位置的。纬度(B)是空间的点与参考椭球面的法线与赤道面的夹角,经度(L)是空间中的点与参考椭球的自转轴所在的面与参考椭球的起始子午面的夹角,大地高(H)是空间点沿参考椭球的法线方向到参考椭球面的距离(如图2)。

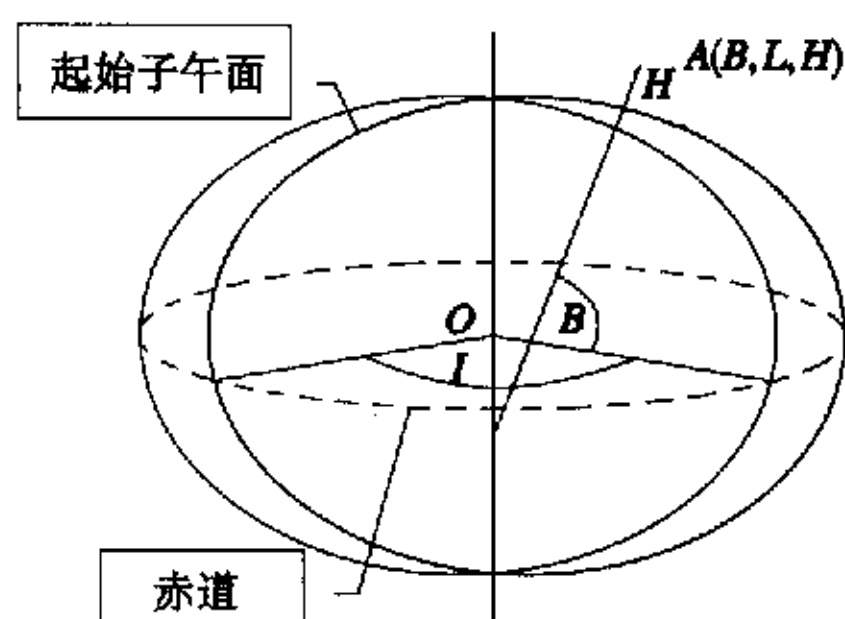


图2 空间大地坐标系

Fig.2 Spatial geodetic coordinate system

1.3 平面直角坐标系

平面直角坐标系是利用投影变换,将空间坐标(主要是指空间大地坐标)通过某种数学变换映射到平面上,这种变换又称为投影变换。在我国经常采用的投影方式就是高斯-克吕格投影。

2 空间转换思想与转换模型

在进行空间转换时,首先必须假定 WGS84 坐标测定点中有 3 个已知的 BJ54 坐标系的平面坐标。根据这 3 个公共点的坐标首先进行 7 个参数的测定,然后进行 WGS84 坐标和 BJ54 坐标的转换。

2.1 七参数的测定

1) 将 3 个已知点的 BJ54 平面坐标根据克拉索夫斯基椭球参数进行高斯反算,由公式(1)求出这 3 个点的空间大地坐标(即经纬度坐标)。

$$\left\{ \begin{aligned} B &= B_f + \frac{1}{2N_f^2}t_f(1 - \eta_f^2)y^2 + \frac{1}{24N_f^4}t_f \\ &\quad (5 + 3t_f^2 + 6\eta_f^2 - 6t_f^2\eta_f^2 - 3\eta_f^4 - 9t_f^2\eta_f^4)y^4 \\ &\quad + \frac{1}{720N_f^6}t_f(-61 - 90t_f^2 - 45t_f^4 \\ &\quad - 107\eta_f^2 + 162\eta_f^2t_f^2 + 45\eta_f^2t_f^4)y^6 \\ L &= \frac{1}{N_f\cos B_f}y + \frac{1}{6N_f^3\cos B_f}(-1 - 2t_f^2 \\ &\quad - \eta_f^2)y^3 + \frac{1}{20N_f^5\cos B_f} \\ &\quad (5 + 28t_f^2 + 24t_f^4 + 8t_f^2\eta_f^2)y^5 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

其中:

$$N_f = a / (1 - e^2 \sin^2 B_f)^{\frac{1}{2}}$$

$$t_f = \tan(B_f)$$

$$\eta_f^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \cos^2 B_f$$

在该公式中, N_f 表示椭球的卯酉圈曲率半径, 式中 a 表示椭球体的长半径, b 表示椭球体的短半径, B 表示大地坐标的纬度, L 表示大地坐标的经度。

2) 根据 BJ54 坐标系的椭球体由(2)式将空间大地坐标 $(B \ L \ h)^T$ 换算成空间直角坐标 $(X_{54} \ Y_{54} \ Z_{54})^T$ 。

$$\begin{cases} X = (N_f + h) \cos B \cos L \\ Y = (N_f + h) \cos B \sin L \\ Z = [N_f(1 - e^2) + h] \sin B \end{cases} \quad (2)$$

该公式中的 h 表示大地高,其余的各个符号所表示的内容同公式(1)中对应符号所表示的内容一致。

3) 将 GPS 测定的 3 个大地坐标 $(B_{84} \ L_{84} \ h_{84})^T$, 由 WGS84 椭球参数,按公式(2)转换成空间坐标形式 $(X_{84} \ Y_{84} \ Z_{84})^T$ 。

4) 根据既具有 WGS84 坐标又具有 BJ54 坐标的 3 个已知点利用公式(3)可以求出两个坐标系进行转换的 7 个参数。

$$\begin{pmatrix} X_{54} \\ Y_{54} \\ Z_{54} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Dx \\ Dy \\ Dz \end{pmatrix} + (1 + k)R(\alpha)R(\beta)R(\gamma) \begin{pmatrix} X_{84} \\ Y_{84} \\ Z_{84} \end{pmatrix} \quad (3)$$

在该公式中, $(Dx \ Dy \ Dz)^T$ 是进行空间转换时的坐标平移量, k 是一个缩放尺度比参数, α, β, γ 是进行转换时的旋转参数,这就是所谓的七参数。

2.2 WGS84 坐标与 BJ54 坐标的转换

1) 利用公式(3)将所有需要转换的 WGS84 坐标全部转换为 BJ54 坐标。

2) 根据 BJ54 坐标的克拉索夫斯基椭球参数,利用公式(4)将 $(X_{54} \ Y_{54} \ Z_{54})^T$ 换算为大地坐标 $(B_{84} \ L_{84} \ h_{84})^T$ 。

$$\begin{cases} L = \arctan(Y/X) \\ B = \arctan[(Z + Ne^2 \sin B) / \sqrt{X^2 + Y^2}] \\ h = \sqrt{X^2 + Y^2} \sec B - N \end{cases} \quad (4)$$

3) 将所得到的 BJ54 的大地坐标利用公式(5)进行高斯正算,得到的结果就是所要求的 BJ54 平面直角坐标。

$$\begin{cases} x = X + \frac{N_f}{2} \sin B \cos B l^2 + \frac{N_f}{24} \sin B \cos^3 B \\ \quad (5 - t_f^2 + 9\eta_f^2 + 4\eta_f^4) l^4 \\ \quad + \frac{N_f}{720} \sin B \cos^5 B (61 - 58t_f^2 + t_f^4 \\ \quad + 270\eta_f^2 - 330\eta_f^2 t_f^2) l^6 \\ y = N_f \cos B l + \frac{N_f}{6} \cos^3 B (1 - t_f^2 + \eta_f^2) l^3 \\ \quad + \frac{N_f}{120} \cos B (5 - 18t_f^2 + t_f^4 \\ \quad + 14\eta_f^2 - 58t_f^2 \eta_f^2) l^5 \end{cases} \quad (5)$$

在该公式中 $l = L - L_0$, 其中 L 表示 WGS84 坐标系中某一点的纬度, L_0 表示该点所在区域的中央经线的纬度。

3 程序代码及说明

本文采用 Delphi 开发语言进行 WGS84 坐标和 BJ54 坐标的转换实现。现将高斯正算公式的程序代码段摘抄如下, 可供使用者参考。

```
.....
//变量定义
var
B1, L1, H1, X1, Y1, Z1, N1, X2, Y2, Z2, B2, L2,
H2, N2, l, ll, t, m, E, x, y, il, i2, XX: double;
r: real;
el, e2: real;
const
a84 = 6 378 137.0; b84 = 6 356 752.314 245 1;
Dx = 1.092 7; Dy = -1.783 3; Dz = 1.748 9; k
= 9.353 754;
a54 = 6 378 245.0; b54 = 6 356 863.018 773; l0
= 123;
.....
//高斯正算代码段
t := sin(B2)/cos(B2);
E := (sqr(a54) - sqr(b54))/sqr(b54);
m := E * cos(B2);
XX := 6 367 558 * B2 - 16 036.480 3 * sin(2 *
B2) + 16.828 1 * sin(4 * B2) - 0.021 98 * sin
(6 * B2)
+ 0.000 031 * sin(8 * B2);
x := XX + ((N2 * sin(B2) * cos(B2) * sqr
(1))/2) + ((N2 * sin(B2) * cos(B2) * cos
(B2) * cos(B2)
* (5 - sqr(t) + 9 * sqr(m) + 4 * sqr(m) *
sqr(m)) * sqr(1) * sqr(1))/24) + (N2 * sin
```

```
(B2)
* (sqr(sqr(cos(B2)))) * cos(B2) * (6 *
1 - 58 * (sqr(t)) + sqr(sqr(t)) + 270 * (sqr
(m)) -
330 * (sqr(m)) * (sqr(t))) * (sqr(sqr
(sqr(1))))/720;
y := N2 * cos(B2) * l + ((N2 * cos(B2) * cos
(B2) * cos(B2) * (1 - sqr(t) * + sqr(m)) * l
* l * l)/6)
+ (N2 * cos(B2) * (sqr(cos(B2))) * (sqr
(cos(B2))) * (5 - 18 * (sqr(t)) + sqr(sqr
(t)) +
14 * (sqr(m)) - 58 * (sqr(t)) * (sqr
(m))) * (sqr(sqr(1))) * l)/120;
(.....表示的是省略的部分程序代码。)
```

4 结 论

在进行两种不同类型的坐标转换时, 坐标转换的精度除了取决于坐标转换的思想、转换模型和求解转换参数的公共点坐标精度外, 还和公共点的数量等有关。当具有两种坐标类型的公共点多于 3 个的时候, 一般采用最小二乘法原理进行三参数或者是七参数的求解。鉴于地面网可能存在一定的系统误差, 且在不同区域并非完全一样, 所以一般采用分区求解转换参数, 分区进行坐标转换, 这样可以提高坐标转换的精度。

本文采用的是利用 3 个已知公共点求解七参数的方法, 同时在进行转换时没有考虑高程影响的制约作用, 所以经过转换后产生了一定程度的误差, 但是经验证后得知这些误差都出现在允许的范围。在大范围内进行坐标转换时, 要想提高转换的精度, 必须采用 3 个以上的公共点, 利用最小二乘法原理进行七参数的测定, 同时要充分考虑高程信息, 这样才能够达到更高精度的转换。在相对较小的范围内进行坐标转换时由于高程因素对于坐标转换的影响非常微小, 可以不需要考虑该因素。

参考文献:

- [1] 李汝昌, 王祖英. 地图投影[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
- [2] 武汉测绘科技大学测量学编写组. 测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1991.
- [3] 周忠谟等. 地面网与卫星网之间转换的数学模型[M]. 北京: 测绘出版社, 1984.

作者简介:

李连伟(1978-), 男, 山东菏泽人, 现就读于华东师范大学地理学系, 硕士研究生, 研究方向是城市地理信息系统, 现在主要进行城市地理信息系统中不同数据格式转换的研究。