

稳健估计在参心与 GPS 地心坐标间相互转换的应用

陈本富¹, 李军杰², 施昆³

(1. 东华理工学院 测量系, 江西 抚州 344000; 2. 平顶山工学院 测量与国土信息系, 河南 平顶山 467000;
3. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 由于传统的地理数据属于不同的大地基准框架, 使得空间数据的管理和共享存在诸多障碍, 为了实现各种基准下空间数据的转化和统一. 针对在无法获知两个坐标系下公共点成果精度指标的情况下, 提出了利用稳健估计理论合理求解转换参数的一种方法. 通过算例分析, 较之常规处理方法计算, 具有明显的优越性.

关键词: 稳健估计; GPS; 大地基准; 参心坐标系; 地心坐标系; 大地测量

中图分类号: TD172 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2005)03 - 0011 - 04

Application of Robust Estimation in Coordinates Change Between Referenced - Centric and GPS Geocentric System

CHEN Ben-fu¹, LI Jun-jie², SHI Kun³

(1. Surveying Department, East China Institute of Technology, Fuzhou Jiangxi 344000, China; 2. Surveying and Land Information Department, Pingdingshan Institute of Technology, Pingdingshan Henan 467000, China; 3. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The traditional geographic data, which belong to different geodetic datum frames, make it difficult to manage and share in a common frame. In order to realize the conversion and unification of the data in different datum frames, converting parameters through robust estimation is put forward when the precision index of the two different coordinates cannot be obtained. Through arithmetic analysis, it is proved to be advantageous than the traditional method.

Key words: robust estimation; GPS; geodetic datum; referenced - centric system; geocentric system; geodesy

0 引言

大地基准是大地测量的基础, 各个国家和地区根据自身所处的地理位置, 结合地学发展的历史阶段, 分别建立了属于不同参心坐标系的坐标基准, 以满足各自科研和实践需求. 在我国大地基准建设中, 国家平面大地控制网经历了 1954 年北京坐标系和 1980 年国家坐标系两个阶段, 高程控制网经历了 1956 年黄海高程系统到 1985 年国家高程基准两个阶段; 另外, 由于我国幅员辽阔, 各个省、市、自治区等又相继建立了众多属于局部区域的地方独立坐标系.

传统的地理空间数据由于分属不同的大地基准, 为空间信息的管理和共享带来了不便. 随着 GPS 技术的出现和在测绘领域中运用的日益成熟, 借助 GPS 这一中介, 实现各种基准下的地球空间信息, 转化为统一的地心框架下的数据, 无疑对整合整个地球空间资源, 具有重要意义.

利用七参数转换模型^[1,2]求解未知参数的过程中, 在不知道公共点坐标精度指标的 (即坐标值的方差——协方差阵) 情况下, 传统作法是在某种判别准则上, 先剔除部分认为是不合理的点, 然后按各点等权进行处理^[3]. 笔者认为, 除非有明显的根据表明部分点有问题 (如地质灾害使点位发生移动或遭到了人

收稿日期: 2004 - 12 - 13. 基金项目: 云南省自然科学基金项目 (项目编号: 2002D0018M).

第一作者简介: 陈本富 (1969. 2 ~), 男, 硕士, 高级工程师. 主要研究方向: GPS 技术与数据处理.

E - mail: chenbenfu - js@126.com

为的破坏等),否则尽可能不要轻易丢弃已知数据;另外,由于参心坐标系与地心坐标系的转换是两个椭圆局域内的符合,故需充分考虑到不同位置的点对转换参数有不同的影响,笔者通过对已有数据处理后进一步验证了:按各已知点至它们所围成区域的中心点的距离定初权,并按稳健估计理论作进一步处理,较之前者,会更具科学性.

1 数学模型

1.1 函数模型

根据文献[1]介绍,利用“七参数转换法”,具体如下:

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = (1+m)R_x(x)R_y(y)R_z(z) \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

一般, x 、 y 、 z 为微小转角,则有:

$$\sin x = x, \sin y = y, \sin z = z, \cos x = 1, \cos y = 1, \cos z = 1$$

式中: x 、 y 、 z —坐标轴旋转参数; X_0 、 Y_0 、 Z_0 —中心点平移参数; m —为两坐标系间尺度变化参数. 设:

$$a_1 = 1+m, a_2 = a_1 x, a_3 = a_1 y, a_4 = a_1 z$$

进一步整理有改正数方程:

$$\begin{pmatrix} V_{X_2} \\ V_{Y_2} \\ V_{Z_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix}_F - \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix}_C \quad (2)$$

则误差方程形式如下:

$$\begin{pmatrix} V_{X_2} \\ V_{Y_2} \\ V_{Z_2} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_1 & 0 & -Z_1 & Y_1 \\ 0 & 1 & 0 & Y_1 & Z_1 & 0 & -X_1 \\ 0 & 0 & 1 & Z_1 & -Y_1 & X_1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix}_F \quad (3)$$

写成间接平差公式形式:

$$V = B X + L \quad (4)$$

式中:

$V = (V_{X_2} \ V_{Y_2} \ V_{Z_2})^T$ 为改正数向量;

$X = (X_0 \ Y_0 \ Z_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4)^T$ 为待求的转换参数向量;

B 为 $3n \times 7$ 阶系数矩阵 (n 为转换点个数);

$L = (X_2 \ Y_2 \ Z_2)_F^T$ 为常数项向量 (其中: F 表示已知值, C 表示转换值).

1.2 随机模型^[4]

设权阵为 P . 为便于与传统处理的结果进行比较,算例分别取 $P_i = 1$ 、 $P_i = 1/S_i$ 及 $P_i = 1/S_i^2$ 定权,以此为基础并按稳健估计理论动态定权.

其中按稳健估计理论计算时,动态定权公式:

$$P_i = 1/V_i \quad (5)$$

式中: $V_i = \sqrt{[(V_{X_{2i}})^2 + (V_{Y_{2i}})^2 + (V_{Z_{2i}})^2]}$

迭代计算,直到 $\max(|V_i - V_{i-1}|)$ 设定的限值 (在本文中具体算例计算取至 0.001 m).

其中: V_i, V_{i-1} —同一点相邻两次改正数计算值; S_i —各点至所有已知点所围成区域中心点的距离.

定权说明:在迭代计算过程中,不是按每一个改正数方程 $V_{X_{2i}}, V_{Y_{2i}}, V_{Z_{2i}}$ 定权,而是以点为单元,对每一个点定权,这是为了将一个点作为一个整体来分析,否则,笔者认为,割裂一个点三维坐标的整体性,会形成宏观数据处理上的不全面.

2 具体算例与分析

作者根据上述数学模型,利用 C++ 编程语言^[5]实现了这一算法.以我国西北地区 1954 年北京坐标系及 WGS-84 坐标系下两个不同坐标系中的公共点坐标 (公共点个数为 33,覆盖范围:经度 79°55'55.9455" ~ 109°27'35.1463",纬度 34°32'26.9996" ~ 47°40'50.3276",各点具体数值略)为例,按上述数学模型,各种计算结果详见表 1.

表 1 不同情况下计算结果

Tab 1 Calculations according to different conditions

	X_0	Y_0	Z_0	DX_0	DY_0	DZ_0
$P = 1$	91.132 1	34.231 4	9.885 9	1.789	2.384	2.655
$P = 1/S_i$	91.669 0	35.855 3	8.422 2	2.332	2.613	2.885
$P = 1/S_i^2$	93.815 5	39.005 3	5.933 4	3.061	3.047	3.345
$P = 1$ (稳健) [*]	91.168 6	36.672 6	6.732 3	1.467	1.886	2.085
$P = 1/S_i$ (稳健) [*]	91.186 3	36.878 2	6.437 4	1.481	1.878	2.076
$P = 1/S_i^2$ (稳健) [*]	91.378 4	37.319 6	6.162 3	1.434	1.837	2.036

单位: m

(稳健)^{*}:表示在定初权基础上用稳健估计理论处理

由于单位权中误差值与定权的选择有关,故这里的分析仅以最能影响最终成果质量的中心点平移参数 X_0, Y_0, Z_0 计算结果及其精度指标等项进行分析.通过比较表 1 中的数据可以发现:

1) 仅按初权进行计算,我们发现,中心点平移参数的精度呈现出跳跃性.以 X_0 为例,分别从 1.8 m ~ 2.3 m ~ 3.1 m;同时,中心点平移参数本身也有类似情况.以 Y_0 为例,其计算结果分别是 34.2 m ~ 35.9 m ~ 39.0 m.

2) 在对应初权基础上,采用稳健估计进行处理,计算结果表明,上述情况有了明显改善.如同样以 X_0 为例,其精度值依次是 1.5 m、1.5 m、1.4 m,最大相差 0.1 m,而前者相差 1.3 m;又以 Y_0 为例,其计算值依次为 36.7 m、36.9 m、37.3 m,最大相差 0.6 m,而前者相差 4.8 m.可以发现,通过采用稳健估计方法,在求解转换参数过程中,不论是在转换参数本身的值上,还是在反映精度指标上,均反映出了一种“平和性”,即在定权的选择上,有了更多的“宽容性”.也就是说,在随机模型选择上,即使存在部分的“不合理性”,通过稳健估计方法本身可以极大程度地克服这一不足.这里进一步表明,采用稳健估计方法,为充分利用已知的坐标数据点提供了安全系数,较之盲目丢弃部分“可疑”点要理性得多.

3) 通过采用稳健估计这一理论,亦使求解参数总体精度较之常规定权处理方法有了明显改善.以上述两种计算方法各自最高精度进行比较:前者(按初权计算) X_0 最高精度为 1.79 m,后者(按稳健估计理论计算)为 1.43 m,精度提高约 25%;从重要参数解的稳定性分析,以各自最小变化参数 X_0 比较,前者均值为 92.21 m,振荡偏差最大为 1.8%,后者 X_0 平均值为 91.24 m,振荡偏差最大为 0.2%,后者远远优于前者.

4) 同样采用稳健估计,不同的初权选择对参数的计算精度也有不同程度的影响.结合本例,可以发现,以最低精度参数 Z_0 为例,采用各点至区域中心点距离平方倒数定权,相对各点等权提高约 2.4%,其它参数也有类似情况.

3 总结

在实现两个不同基准下的坐标系坐标成果转换过程中,如果已知转换参数,将它们代入相应的转换模型,便可实现相互转换;不同参心基准下的坐标与GPS坐标如能进行合理转换,即借GPS技术这一中介,利用GPS在全球地心框架下的高精度测量成果,实际上便实现了各种坐标系中坐标成果间的转换。

在进行国家(地方)坐标系与WGS-84坐标系利用公共点进行相互转换时,通过上面介绍的数学模型及应用实例,可以发现:按已知点至它们所围区域的中心点距离平方倒数定初权,并用稳健估计理论进行数据处理,相对过去仅按各点等权的数据处理方法,求解出的转换参数性能会更优。另外,通过所得参数计算转化后已知点坐标的变化量,可以发现部分变化量较大的点,按已知点兼容性方法^[3]分析,可以发现它们正好属于内部符合精度较差的点。即利用该方法,亦可间接实现两网联合平差时起始基准点的选择,并赋予它们更合理的定权方法。当然,随着GPS技术的进一步发展,观测数据精度的进一步提高,一定会有更加完善的数据处理方法出现。

参考文献:

- [1] 孔祥元,郭际明,刘宗泉.大地测量学基础[M].武汉:武汉大学出版社,2001.171~173.
- [2] 刘大杰,施一民,过静珺.全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M].上海:同济大学出版社,2001.189~192.
- [3] 董世清,李志诚.GPS测量控制点起算点的兼容性分析[J].四川测绘,2004,26(4):169~172.
- [4] 武汉测绘科技大学测量平差教研室.测量平差基础·第三版[M].北京:测绘出版社,1996.200~202.
- [5] 刘斌,王忠.面向对象程序设计 Visual C++[M].北京:清华大学出版社,2003.2~200.

(上接第10页)

参考文献:

- [1] 蒋景瞳,王启明,曾澜,等.中国地理信息元数据标准研究[M].北京:科学出版社,1999.
- [2] [美]Steven Holzner XML使用详解[M].北京:机械工业出版社,1999.
- [3] 张清浦,刘纪平.政府地理信息系统[M].北京:科学出版社,2003.
- [4] 国土资源部信息化领导小组办公室.全国国土资源政务管理信息系统与信息服务系统建设总体方案[J].国土资源信息化建设,2001,(2,3):2~13;21~28.
- [5] 赵俊三.GIS发展的最新趋势及其应用前景[J].测绘工程,2000,9(2):21~25.
- [6] Ted Burroughs Oracle 9i Advanced Replication, Release 2 (9.2)[M]. Redwood City: Oracle Corporation, 2002. 38~183.
- [7] Barbara Bicking, Russell East Towards Dynamically Insetting Spatial Data And Its Metadata[A], First IEEE Metadata Conference[C]. NOAA Auditorium, Silver Spring, Maryland, 1996, April 16~18.
- [8] Junsan Zhao, Barry Wellar Development of GIS/LIS for Cadastral Survey and Land Registration in China: A Status Report [J]. Geomatica, 1999, 53(1): 56~62.