

海岸带数据集成中的空间坐标转换方法研究

韩雪培^{1,2} 廖帮固²

(1 南京大学城市与资源学系, 南京市汉口路 22 号, 210093)

(2 华东师范大学地图研究所, 上海市中山北路 3663 号, 200062)

摘 要:就海岸带空间数据集成中所涉及的多种坐标系、多种地图投影转换等问题作了详细分析, 并提出了有效的解决方案。

关键词:海岸带; 数据集成; 地图投影; 坐标变换

中图法分类号:P282

1 不同源数据空间歧义的产生

在海岸带管理与研究中, 需要使用各种类型的海图、陆图以及不同时期、不同比例尺的地图。由于海陆长期分割管理等原因, 使得海图、陆图的数学基础存在较大的差异, 不同时期的地图资料的数学基础也不尽相同; 遥感、全球定位系统等也具有相对独立的数学基础, 这就给现代海岸带综合管理中的信息集成带来了一个难题——不同源的信息在空间分布的连续性上产生了歧义, 主要原因是不同源的信息可能基于不同的地图投影和不同的坐标系。

1.1 不同的地图投影

根据我国的实际情况, 海图、陆图及遥感资料通常采用不同的地图投影作为各自的数学基础。在海岸带研究及其应用开发中, 主要涉及的地图投影有等角圆锥投影、高斯-克吕格投影、墨卡托投影、UTM 投影等, 其中, 等角圆锥投影是我国小比例尺地形图采用的投影, 而我国的大中比例尺地形图则采用高斯-克吕格投影, 海图则采用墨卡托投影, UTM 投影则是卫星影像资料所习惯采用的投影。

不同的地图投影具有不同的几何特性, 变形特征也各不相同, 彼此不能直接融合, 因此, 不同地图投影的地图或数据不能简单地进行拼接或叠

置, 只有将它们转换到统一的地图投影和坐标系下, 才能进行无缝拼接。

1.2 不同的坐标系

坐标系是描述地球上各地理要素空间特性的框架。不同来源、不同时期的资料往往具有不同的大地坐标系, 而海岸带工程需要的大比例尺地图甚至根本没有大地坐标系, 只有地方直角坐标。

我国目前所使用的地形图主要采用 1954 年北京坐标系和 1980 年西安坐标系, 而目前为海陆广泛使用的 GPS 则采用一种世界大地坐标系, 即 WGS84 坐标系。虽然上述几种坐标系都属于大地坐标系统, 但由于它们建立在不同的参考椭球上, 且各自参考椭球体的定位参数(与地球体的关系)亦不相同, 因此彼此不能完全兼容。其关键在于同一空间点在不同坐标系下具有不同的坐标值(见图 1), 而同一坐标值的空间点在不同坐标系的地图上表示的点位也不相同(见图 2)。

图 1 反映的是上海某相邻两幅 1:1 万地形图的邻接情况, 由于两幅图分别采用北京 54 坐标系(左)和西安 80 坐标系(右), 因此, 尽管邻接边图经度相同, 均为 $121^{\circ}26'15''$, 但它们表示的实际要素却存在一条明显的空白地带, 空白区的宽度近 60m。图 2 显示了实测 GPS 数据与国家标准地形图的匹配状况, 图中圆形符号为 GPS 观测点, 它们的实际点位均在地图所示的主要道路上, 而按坐标叠置到地形图(西安坐标系)上却出现了

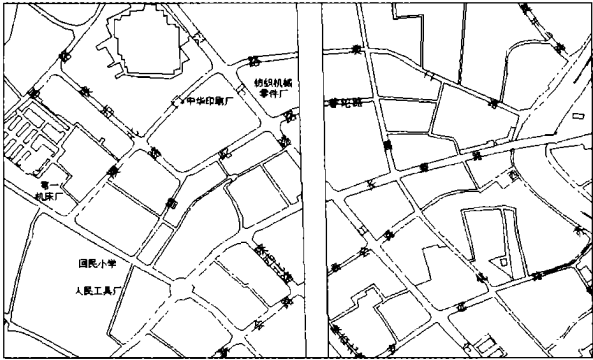


图 1 不同坐标系地形图邻接状况(中间部分为两个坐标系邻接真空带)

Fig. 1 Adjacent Status of Topographic Maps in Different Coordinate System



图 2 GPS 实测点与国家标准地形图匹配状况

Fig. 2 Matching GPS Points with Topographic Map

明显的偏差,有些点甚至落入了黄浦江。

显然,类似于图 1、图 2 所示的结果,在所进行的海岸带区域研究中是不能接受、不可忽略的,必须寻找解决的途径,实现多源数据的无缝集成。

2 解决方法探讨

2.1 基于 GIS 软件平台的地图投影解决方案

通常,著名的 GIS 软件平台都具有较完善的地图投影模块,可以自动地、实时地进行投影变换,使得不同投影的地图在同一窗口下得到统一,或者转换为需要的投影,但正确的变换是以基础数据录入正确为前提的。

配准是空间数据录入(数字化)前非常重要的一项工作,其目的就是确定数字化设备坐标(物理坐标)与地图坐标(用户坐标)之间的转换关系。其中,

地图坐标包括平面直角坐标和地理经纬度,它们之间通过一定的数学表达式,即地图投影联系起来。一方面,各类地图在投影类型的使用上有一个惯常性;另一方面,各地图投影数学表达式中的参数值还取决于制图的目的和制图区域的地理位置。

不同的软件参数设置的方式不同,如在 Map-Info 中,是通过修改投影参数文件 MAPINFO. PRJ 来实现的^[3]; Arc/Info 则提供了投影转换工具集,以对话框的形式输入参数,定义地图投影。参数设置的形式虽然不同,但其实质却是相同的。对于某一具体的投影来说,参数的个数及其含义是一致的。因此,了解各种投影的参数设定原则,确定所用地图的参数值就显得十分重要。表 1 反映了海岸带区域所涉及的几种常用地图投影及其主要参数的设定原则。

表 1 海岸带研究中常用地图投影及参数设置一览表

Tab. 1 Map Projections and Parameters Common-used in Coastal Zone Studying

投影名称	MapInfo 中的代码	主要参数设置	用途
墨卡托投影	10	赤道与中央经线交点为直角坐标原点	海图
高斯-克吕格投影	8	1:50 万~1:2.5 万为 6° 分带,大于等于 1:1 万采用 3° 分带,不同经度带属不同投影带 小比例尺地形图双标准纬线规则: $\psi_1 = \psi_北 - 35'$, $\psi_2 = \psi_南 + 35'$ ($\psi_北$ 、 $\psi_南$ 分别为图幅北、南图廓纬度),	大、中比例尺地形图
等角圆锥投影	3	区域图标准纬线则随区域位置而定 为横轴割圆柱投影,切割比一般为 0.999 6	小比例尺地形图 区域地图(常用)
UTM 投影	8		卫星遥感影像

基于上述分析,笔者以 MapInfo 软件为技术平台,进行了不同比例尺、不同投影图的信息集成试验,获得了较为理想的结果。图 3 显示了一部分的信息集成效果。其中,陆地部分数据来源是 1:10 万上海市分幅图,该图采用的是等角圆锥投影;长江口航道部分数据来源为若干幅 1:22.5 万的航道图,它们均采用墨卡托投影。

2.2 基于多项式逼近的坐标系解决方案

正确的地图投影设置使得平面地图上直角坐标系下的空间信息得以正确地转换到球面地理坐标系下。但由于不同时期或不同信息源的数据可能采用不同的地理坐标系,即使在数据录入时设置了正确的投影,这些不同源的数据也会产生分歧,出现类似图 1、图 2 的情况。这是由于采用了

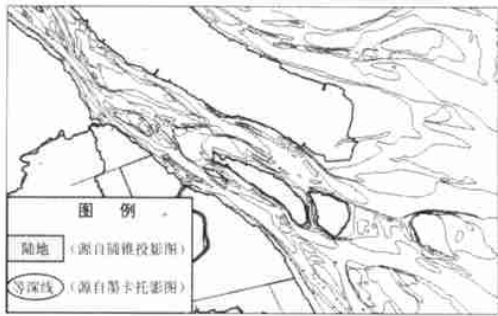


图3 不同地图投影统一变换结果

Fig. 3 Results of Transforming Different Map Projections

不同的地理坐标系所造成的, 必须通过其他的途径来解决。

从理论上讲, 不同的大地(地理)坐标系相对不同的大地基准面, 不同的基准面则取决于所采用的椭球体(尺度变化参数 m)及椭球体的定位参数: 3 个平移参数 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ 和 3 个旋转参数 $(\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z)^T$ ^[4], 根据这些参数可知它们彼此之间的关系, 即可进行精确的坐标转换。考虑到这些参数的保密性, 一般的用户只能在不同坐标系下采集若干同名点的坐标值, 用数值变换的方法进行坐标变换, 实现统一。

常用的坐标转换方法是相似变换和仿射变换^[5,6]。相似变换是通过坐标系的平移、旋转和比例缩放来实现的, 而仿射变换是经过坐标系的平移、比例、旋转、对称和错切等复合变换得到的^[5]。相似变换是仿射变换的一个特例, 而仿射变换则属于多项式逼近的一种。它们之间的关系表达式为:

$$\begin{cases} x' = a_0 + a_1x + a_2y \\ y' = b_0 + b_1x + b_2y \end{cases} \quad (1)$$
$$\begin{cases} x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots \\ y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + \dots \end{cases} \quad (2)$$

式(1)为仿射变换公式, 当 $a_1 = -b_2$, $a_2 = b_1$ 时, 即为相似变换; 式(2)为逼近多项式。显然, 当逼近多项式的高次项系数为零时, 即为仿射变换。

相似变换适用于区域范围小、转换区域在两个坐标系中的几何相似程度好的情况; 仿射变换则适用于区域图形不相似、但变形不甚复杂的情况。在原图投影参数不能确定或区域变形复杂的情况下, 常采用高次多项式进行坐标变换, 以达到必要的变换精度。但多项式的次数不宜盲目提高, 过高的次数不但不能明显地提高变换的精度,

相反, 会使线性方程组的求解相对复杂, 增加不稳定性^[7]。

笔者根据多项式变换原理, 自行开发程序进行了坐标变换试验, 分别进行了 1~12 次多项式变换, 试验区域分别选择上海市(小范围)、长江三角洲(中等范围)、中国大陆(大范围)。图 4 为笔者利用逼近多项式, 以华东区域图(等角圆锥投影)为转换参考图进行坐标变换试验的部分结果。其中图 4(a)是未经纠正的 MODIS 影像及在此基础上(未经配准)的矢量化点(作为转换控制点)、线; 图 4(b)是采用 3 次多项式和 26 个控制点(配准点)进行变换的结果; 图 4(c)是采用 5 次多项式和 26 个控制点进行变换的结果; 图 4(d)是采用 5 次多项式和 40 个控制点进行变换的结果; 图 4(e)是采用 7 次多项式和 40 个控制点进行变换的结果。由于 MODIS 影像几何变形大、分辨率低, 影响了控制点选择的精度, 必须通过提高多项式次数、增加控制点个数的方法, 以提高转换精度。

比较上述的变换结果可以发现, 图 4(c)的变换结果显然好于图 4(b)的结果, 且图 4(c)中的局部抖动在图 4(d)中得到了解决; 图 4(e)因为控制点数量不够而产生了抖动。由此可见, 逼近多项式的次数越高, 坐标转换精度越高; 高次多项式所产生的不稳定性可以通过足够多的控制点(多于解方程组需要的基本点数)来得到解决。

研究表明, 多项式变换的精度受到诸多因素的影响, 除了多项式次数和控制点数量外, 还有控制点精度和坐标单位、控制点的分布状况、原始数据与参考数据的几何相似程度以及区域大小等。笔者在研究中发现, 坐标单位的精度将直接影响结果精度, 因此, 坐标转换应尽量在直角坐标之间进行, 然后再通过投影设置转换为彼此的大地坐标(见图 5)。这是由于直角坐标单位(m)与大地坐标最小单位(")相比较, 前者相对精度更高。以地球平均半径为 6 371km 计算, 大圆弧上的 1m 所对应的圆心角约 $0.032''(8.99 \times 10^{-6})$ 。

3 结 语

本文的研究为海岸带多源空间信息集成, 即数学基础的统一提供了可靠的方法途径和有效的解决方案, 也可以进一步运用于海岸带资源环境的开发、管理和研究中。以本文提出的方法为基础, 通过进一步研究, 可以实现海岸带多方面对地理空间数据集成的应用需求。其中, 多项式变换的影响因子和解决办法有待更深入的研究。

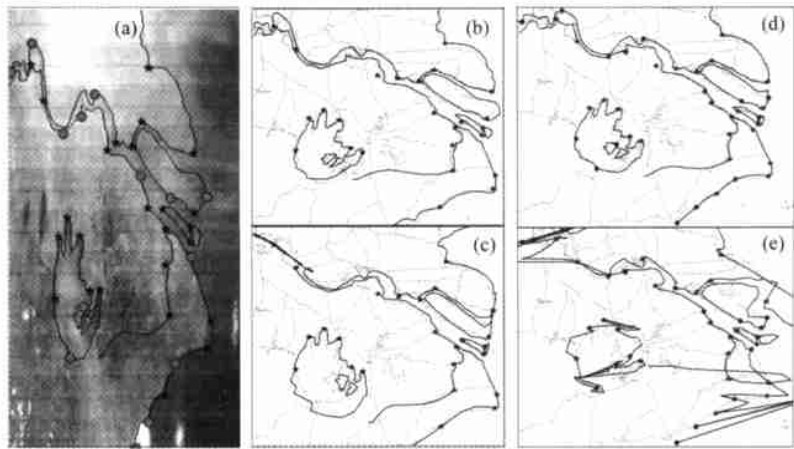


图 4 基于逼近多项式的坐标变换试验

Fig. 4 Coordinate Transformation Based on the Polynomial



图 5 坐标转换模式

Fig. 5 Model for Coordinate Transformation

参 考 文 献

1 左 平, 邹欣庆, 朱大奎. 海岸带综合管理框架体系研究. 海洋通报, 2000, 19(5): 55~61

2 李 军, 费川云. 地球空间数据集成研究概况. 地理科学进展, 2000, 19(3): 203~211

3 韩雪培. GIS 的地图投影功能及其作用浅析. 地图,

1999, 14: 14~16

4 孔祥元. 大地测量学基础. 武汉: 武汉大学出版社, 2001. 158~175

5 郭金运. 地图数据几何纠正时仿射变换与相似变换的对比分析. 测绘通报, 2001(4): 23~27

6 赵广信, 常跃广. 地形图数字化坐标变换数学模型分析. 测绘通报, 1998(1): 24~25

7 吕晓华, 刘宏林. 地图投影数值变换方法综合评述. 测绘学院学报, 2002, 19(2): 150~153

第一作者简介: 韩雪培, 副教授, 博士生. 主要从事地图与 GIS 的教学和科研工作.
E-mail: xphan@geo.ecnu.edu.cn

Spatial Coordinate System Transformation for Coastal Data Integration

HAN Xuepei^{1,2} LIAO Banggu²

(1 Department of Urban and Resources, Nanjing University, 22 Hankou Road, Nanjing 210093, China)

(2 Research Institute of Mapping, East China Normal University, 3663 Zhongshanbei Road, Shanghai 200062, China)

Abstract: This paper analyzes the different reference frames and map projections which are involved in coastal space data-integration, and proposes some effective methods for unifying different reference frames and transforming different map projections. Particularly, the relation between the order of a polynomial and control points is discussed. The methods proposed for map projection transformation in this paper can be used in other fields, e. g. integration of landform and seabed.

Key words: coastal zone; data integration; map projection; coordinate transformation

About the first author: HAN Xuepei, associate professor, Ph. D candidate, majors in GIS.
E mail: xphan@geo.ecnu.edu.cn