

# 一种 GPS 高程拟合的新方法

杨海军

(山西省第二地质工程勘察院, 山西 侯马 043000)

**摘要:**介绍了一种 GPS 高程拟合的新方法, 即首先通过采集测区已有的高程点或水准点资料, 进而求出这些点的高程异常值, 接着构建高程异常的 TIN 模型, 然后通过移动三角面进行高程异常值的拟合处理, 最后求出 GPS 点的正常高程值。实验证明, 该方法能够较好地改善 GPS 高程的拟合精度。

**关键词:**GPS 高程; 曲面拟合;  $\xi$  TIN 模型; 移动三角面; 高程异常

**中图分类号:** P 228.4; P 216 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007 - 9394(2008)01 - 0039 - 02

## A Kind of New Method of Height Fitting

YANG Hai-jun

(Shanxi Second Prospection Institute of Geologic Engineering, Houma Shanxi 043000, China)

**Abstract:** This paper introduces a kind of new method of height fitting, first, collecting data which are known height points or leveling points, and then solving out height anomaly of above mentioned points, in the train of structuring TIN model of height anomaly, at last the height anomaly value of all points are processed through mobile triangle surfaces.

**Key words:** GPS height; surface fitting;  $\xi$  TIN model; mobile triangle surface; height anomaly

### 0 引言

众所周知, GPS 技术已经被广泛应用到各个领域, 如环境监测部门的数据采集、地理信息系统的建立、地质灾害的预报、监测等。GPS 的高精度、全球性、全天候等特点已被大家所共识, 为提高经济效益, 减少外业工作量, 人们广泛采用 GPS 定位技术进行平面定位。但 GPS 测高数据的应用却没有和 GPS 平面成果那样被广泛应用。这主要是因为 GPS 所测的高程为大地高程。由于大地高程面和水准面不平行性, 产生了高程异常的现象。因此, GPS 高程只有经过高程异常的改正才能应用到工程测量和城建系统中。大地水准面是一个不规则的曲面, 它不可能完全通过一个数学模型来精确的描述。如何利用 GPS 所测的大地高, 通过一种算法来求出该点的正常高, 一直是 GPS 测量研究的热点。近几年来国内外学者常采用数学拟合的方法来求解。

### 1 常用模型的介绍

#### 1.1 多项式的曲面拟合

如某区域的高程异常  $\xi$  与地面坐标  $(x, y)$  之间存在以下函数关系:

$$\xi = f(x, y) + \Delta \quad (1)$$

式中:  $f(x, y)$  为  $\xi$  的趋势值;  $\Delta$  为模型误差。则

$$f(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots \quad (2)$$

写成矩阵形式有:

$$\xi = XB + \Delta \quad (3)$$

$$V = B\hat{X} + f \quad (4)$$

式中:  $B$  为系数矩阵;  $X$  为参数;  $\hat{X}$  为估值向量;  $\xi$  为高程异常向量;  $f$  为常数向量;  $V$  为残差向量。

对于每个点, 都可以列出以上方程, 在目标函数  $\Delta^T P \Delta = \min$  的条件下, 解出各系数  $a_i$ , 进而求出测区范围内的任何插值点的高程异常值  $\xi$ 。

#### 1.2 加权平均模型

加权平均拟合模型的出发点是待定点为计算中心, 取拟合半径内已知函数值的权中数。已知数据点上的权按其距中心点的不同范围采用不同的权函数确定。以保证越靠近计算点的已知点的权越大, 远离计算点的已知点的权小。常用 GPS 高程拟合加权平均法基本原理是: 设有  $N$  个点, 则  $\xi$  的计算公式为:

$$\xi = \sum_{i=1}^n \xi_i P_i / \sum_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

式中:  $P_i$  是已知点的权函数, 它有多种形式, 具体工程可以根据拟合区域的大小和水准点的分布情况选择合适的权函数。

它们的共同特点就是用一个整体函数来解决一个测区, 这是不严密的, 因为大地高所依据的是一个椭球面, 它是一个严密的数学模型, 而大地水准面不是一个规则的曲面, 它在某一小区域才可以认为是一个数学曲面, 在更小的区域内是个平面, 就像对不规则的曲线微分一样。不同高程拟合方法的比较图, 见图 1。

### 2 移动三角面方法的提出

根据水准面的特点, 利用所掌握的测区内高程异常资料, 将测区分解成若干个三角面, 三角面分布图, 见图 2。

类似 TIN 模型, 通常称它为  $\xi$  TIN 模型。若  $P(X, Y)$  所在的三



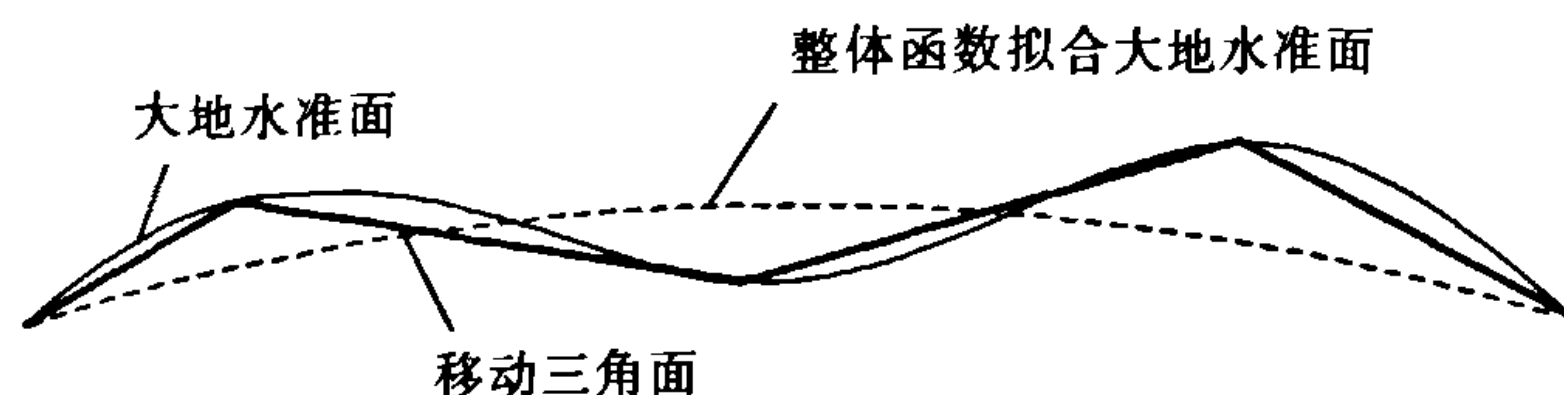


图 1 不同高程拟合方法的比较图  
Fig. 1 Different height fitting methods comparison

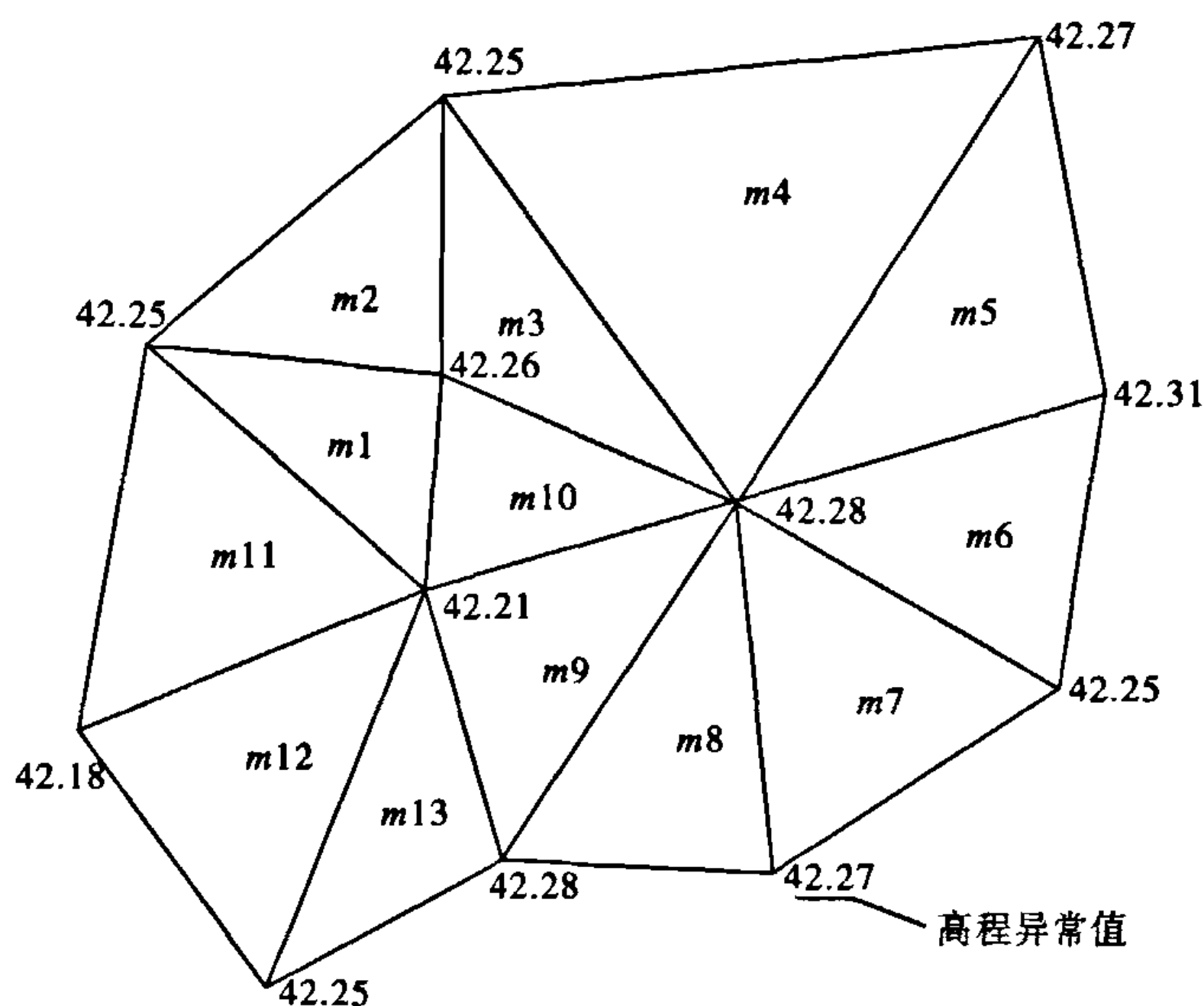


图 2 三角面分布图  
Fig. 2 Triangle surface distribution plan

角形为 $\Delta 123$ , 3个顶点的平面坐标和高程异常分别为 $(X_1, Y_1, \xi_1)$ ,  $(X_2, Y_2, \xi_2)$ 与 $(X_3, Y_3, \xi_3)$ , 则由1, 2, 3点确定的平面方程为:

$$\begin{vmatrix} X & Y & \xi & 1 \\ X_1 & Y_1 & \xi_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & \xi_2 & 1 \\ X_3 & Y_3 & \xi_3 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (6)$$

则 P 点的高程异常为:

$$\xi = \xi_1 - \frac{(X - X_1)(Y_2 \xi_3 - Y_3 \xi_2) + (Y - Y_1)(\xi_2 X_3 - \xi_3 X_2)}{X_2 Y_3 - X_3 Y_2} \quad (7)$$

当点落在  $m_1$  三角形时, 采用  $m_1$  的参数; 在  $m_2$  三角形时, 采用  $m_2$  的参数。

P 点的高程为:

$$h_p = H_p + \xi_p \quad (8)$$

### 3 程序设计流程

GPS 高程拟合的程序设计流程, 如图 3 所示, 该流程比较适合电算。

### 4 实例

以 2006 年笔者在萧山区实测的某 1:500 地形图为例, 该测区主要为平原, 东南面有一个小山。采用 GPS 技术加密至 5 s 级别, 四等水准实测这些点的高程, 对 5 s 点和四等点求出高程异常, 并利用这些资料构建高程异常的 TIN 模型, 然后利用 RTK 技术测地形碎部, 得到的 RTK 高程为不加任何改正的大地高, 再对大地高进行高程异常拟合处理, 进而求出高程。在施测中检查了部分图根导线点的高程, 具体情况见表 1。

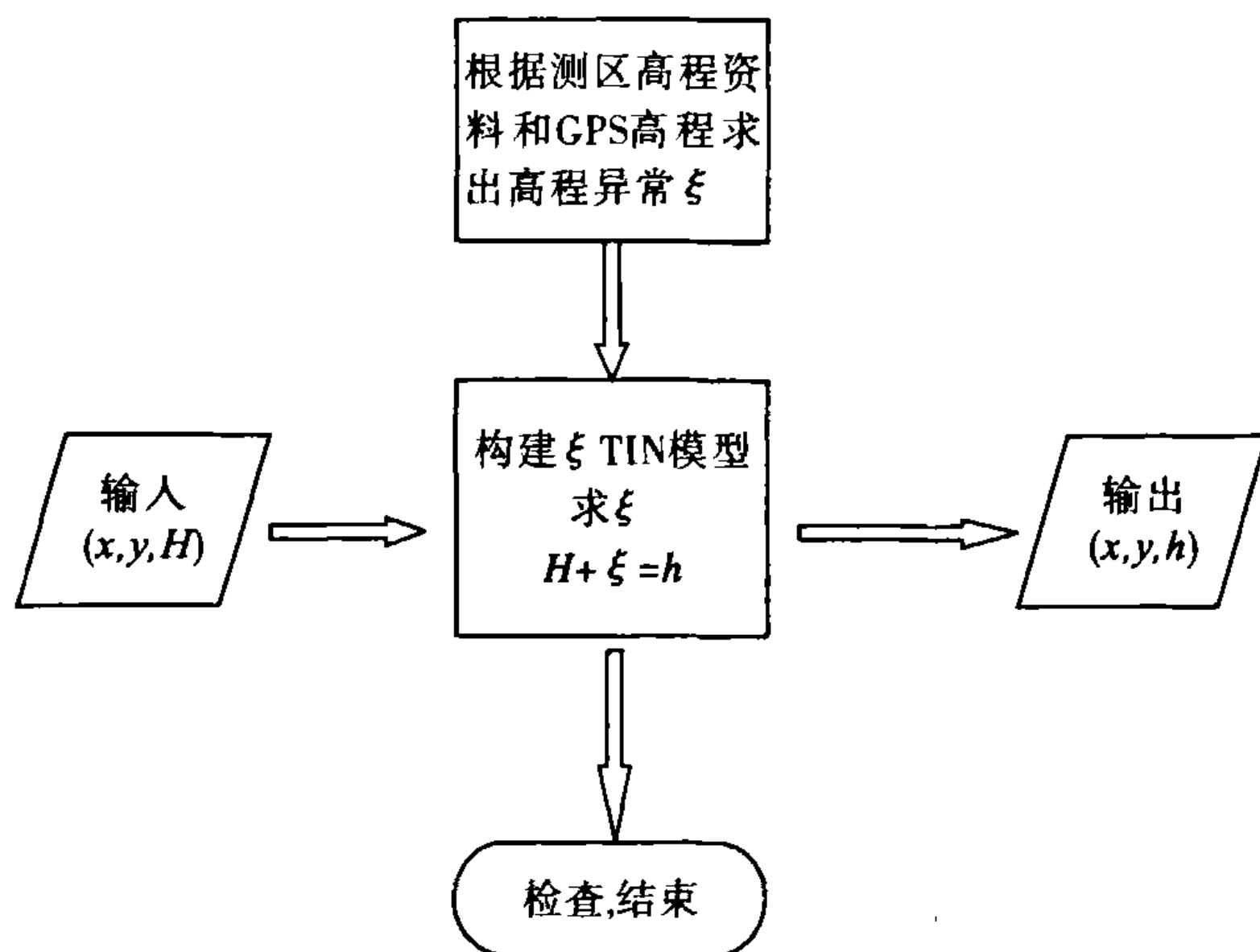


图 3 GPS 高程拟合的程序设计流程图  
Fig. 3 Programming flow chart of GPS height fitting

表 1 水准高程和处理后的 RTK 高程比较表  
Tab. 1 Comparison table between leveling height and RTK height after processing

| 点 号  | 原水准高程/m | 处理后的 RTK 高程/m |
|------|---------|---------------|
| T4   | 6.474   | 6.481         |
| T156 | 7.815   | 7.805         |
| T171 | 5.746   | 5.745         |
| T236 | 6.677   | 6.679         |
| T284 | 8.915   | 8.912         |
| T295 | 36.741  | 36.731        |
| T300 | 30.506  | 30.499        |
| T317 | 40.966  | 40.973        |
| T408 | 5.629   | 5.636         |
| T461 | 9.942   | 9.845         |
| T499 | 9.501   | 9.513         |

从表 1 可以看出, 被检测的这些点精度均在 3 cm 以内, 完全满足碎部高程在 5 cm 以内的精度要求。

### 5 结论

通过理论分析和实践总结, 笔者得出以下几点建议:

- 1) 数据的采集是构建  $\xi$  TIN 模型的关键问题, 研究表明, 任何一种拟合方法都不能弥补取样不当造成的精度损失。如数据点太稀和不均匀会降低模型的精度。
- 2) 在起伏较大的地区, 如山区的边缘, 应适当的增加采样点的密度。构三角网时, 应考虑地形的起伏。
- 3) 已知点的高程精度会直接影响高程拟合的精度, 因此, 需要对起始数据进行可靠性检验。
- 4) 内插点必须在网的内部而不能进行外延。
- 5) 该方法也可以用在独立高程系统中。

### [参 考 文 献]

- [1] 刘友光, 黄桂兰, 黄全义. 工程中数字地面模型的建立与应用及大比例尺数字测图[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1997.
- [2] 张勤, 李家权. GPS 测量原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [3] 赵建虎, 刘经南, 张红梅. 顾及非格网数据考虑地形改正的 GPS 水准高程拟合[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1994, 24(4): 346~349.

作者简介: 杨海军(1975~), 男, 山西侯马人, 工程师, 现主要从事工程测量方面的工作。