

连续网模拟优化方法研究*

葛 茂 荣**

摘要

本文根据连续网精度数字化分析的结数，建立了适用于大规模连续网优化的快速选择最优附加观测量的方法。借此，成功地将解析模拟法应用到较大规模连续网的优化设计和改进中。

【关键词】 连续网，模拟优化，分区搜索

1 前 言

从我国现阶段的科学技术和经济水平来看，现代大地测量方法还不足以完全取代常规方法。因此，利用各种手段建立和改进经典网，以满足实际需要仍是测绘工作者目前的首要任务之一。

经典网中以连续网最为常见。连续网泛指覆盖面积在几百到几万平方公里，并由连续三角形构成的控制网，如国家等级网和大中型城市控制网。根据连续网的含义和用途，连续网具有如下特点：

- (1) 控制区域广阔，控制点数目较多。
- (2) 网形一般按《规范》要求设计。
- (3) 观测程序标准化。同类观测量一般按等精度或分组等精度观测。
- (4) 连续网的质量以精度指标为主，适当顾及精度分布的均匀性，其它质量要求相对降低。
- (5) 连续网内部相互联系精密，网的精度分布具有一定的规律性，

据此，连续网的优化设计和改进宜采用模拟法。由于连续网备选观测量数目庞大，现有选择最佳观测量方法收敛速度很慢。这也是目前连续网优化设计只能凭经验进行的主要原因之一。为了加速模拟优化方法的收敛速度，文献〔1〕、〔2〕建议总结观测量与优化准则之间相互作用的规律性，进而确定选择最优化观测量的方法。

收稿日期：1989—06—15

*本文是作者在武汉测绘科技大学硕士论文的一部分。指导老师是周忠漠教授和晁定波副教授。

**作者单位为清华大学。

2 連續網精度規律分析

本文針對方向網和測邊網以及混合網就附加觀測量類型、位置對點位、邊長和方位角精度的影響做了大量的數字化研究，得出了如下對最優附加觀測量選擇有指導性作用的結論：

(1) 附加觀測量對控制網平均精度提高的顯著程度是由控制網的類型、附加觀測量的類型和所要求的精度指標類型決定的。若把使平均精度提高10%的附加觀測量類型定義成顯著型觀測量，則表1表示了該規律性^[1]。其中C表示顯著型觀測量。

表 1

網型 附加觀測量	測 边 网			方向網、測角網		
	點 位	方 位 角	邊 長	點 位	方 位 角	邊 長
邊 長				C		
方 位 角	C	C		C	C	
方 向、角 度						

除文獻[1]外，根據控制網精度估算公式也可定性地解釋之。

(2) 附加觀測量選擇在控制網精度的最弱區時，對平均精度的改善效果最佳。對此可作如下的解釋：

在原網中附加一觀測量b時，未知數函數f的權倒數Q \hat{f} 可寫成：

$$\tilde{Q}\hat{f} = Q\hat{f} - Q^2\hat{f}\hat{b}\frac{P}{1+PQ\hat{b}} \quad (1)$$

其中，Q \hat{f} 、Q \hat{b} 、Q $\hat{f}\hat{b}$ 是未加入b時f與b的協因數和相關協因數，P是附加觀測量b的權。

引入 \hat{f} 與 \hat{b} 的相關系數P $\hat{f}\hat{b}$ ，且取p=R/Q \hat{b} 則有：

$$\tilde{Q}\hat{f} = Q\hat{f} - Q\hat{f}P^2\hat{f}\hat{b}\frac{R}{1+R} \quad (2)$$

(2)式表明，附加觀測量對精度的改善與R, Q \hat{f} , P $\hat{f}\hat{b}$ 有關。因R是常數，當附加觀測量選擇在網的最弱區時，Q \hat{f} 普遍大，相關系數P $\hat{f}\hat{b}$ 也較大，故改善效果最好。

3 最優附加觀測量的選擇方法——分區搜索法

為了加快觀測量選擇方法的收斂速度，本文將觀測量的選擇方法分為兩步。首先根據規律1，從所有可能的觀測量類型中選出顯著型觀測量——觀測量定型。然後，用分區搜索法從位於比整個網小得多的區域里的顯著型觀測量中選出一個最優的作為本次迭代的最優觀測量。

3.1 附加观测量定型

根据连续网的精度规律 1，观测量对控制网精度提高程度的差异很大。并且按控制网类型、附加观测量类型、选择的精度指标呈现一定的规律性。可以肯定最优观测量不可能属于非显著型。附加观测量定型就是根据网型信息和精度类型信息选择出可能包含最优观测量的显著型观测量，使分区搜索时只在显著型观测量中进行比较计算。根据表 1 可用图 1 所示的框图自动进行观测量定型。

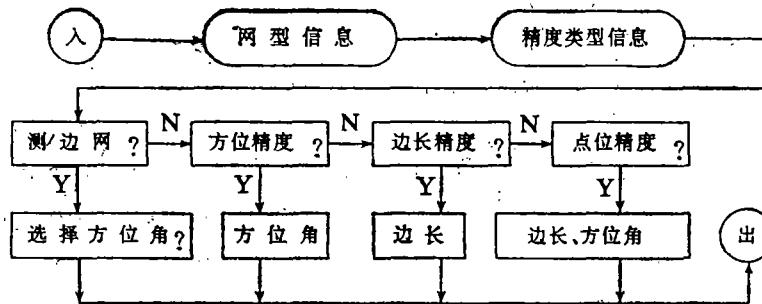


图 1

3.2 附加观测量定位

就连续网而言，即使从一类备选观测量中按现有解析模拟法中的比较算法选择一个最佳附加观测量，其计算时间也是惊人的。为此，本文根据连续网精度规律 2，建立了快速收敛的分区搜索最优附加观测量方法。

分区搜索最优观测量方法将控制网覆盖区域预先划分成若干子区域，把备选观测量和待评定精度量按其在网中的位置分别纳入相应的区域。每次都根据子区域的平均精度确定出网中最弱区。根据精度分析中附加观测量位于网中最弱区时改善效果最好的结论，从最弱区为数很少的备选观测量中用比较算法选出一个对全网精度改善最好的观测量作为本次迭代选择出的最优观测量。

分区时要求每个区域的平均精度能正确反映出该子区域在网中的精度特性。因此，子区域包含的点数不可太少。但是，如果每个子区域包含的点数太多，则参加比较计算的备选观测量增多，相应的计算时间就变长。本文通过计算比较，认为每个子区域包含 15~30 个点为最佳。在保证每个子区域有适当点数的前提下，采用正方形分区最为理想。

如图 2 所示， D 为控制网区域。全网共有 N 个控制点。若要每个子区域平均有 L 个控制点，则分区数为 $\text{INT}(N/L)$ 。

为了使分区计算方便，将测量坐标系 XOY 旋转到 $X'OY'$ 中设正方型子区域边长为

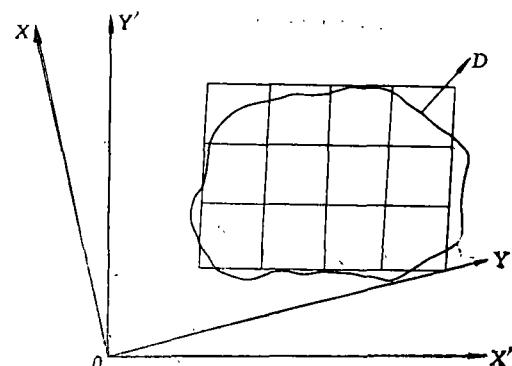


图 2

DX , 沿 X' 、 Y' 轴方向正方形个数分别为 NX 、 NY , 则有:

$$DX \cdot NX = \max(X'_i) - \min(X'_i) = \Delta X'$$

$$DX \cdot NY = \max(Y'_i) - \min(Y'_i) = \Delta Y'$$

解出:

$$DX = \sqrt{\Delta X' \cdot \Delta Y' / (NX \cdot NY)}$$

顾及分区数为 $\text{INT}(N/L)$, 就有:

$$DX = \sqrt{\Delta X' \cdot \Delta Y' \cdot L/N} \quad (3)$$

$$NX = \text{INT}(\Delta X' / DX) \quad (4)$$

$$NY = \text{INT}(\Delta Y' / DX) \quad (5)$$

(3)、(4)、(5)式就构成了本文的正方形分区方法。

分区搜索选择最优观测量旨在从整体上对网的精度进行改善。随附加观测量的增多, 网中不满足精度要求的量越来越少。当整个网中仅有极少数的零散分布在网中的, 待评定精度量不满足要求时, 继续采用分区搜索法所选择观测量质量和收敛速度将明显下降。针对这种情况, 本文采用局部改善方法对分区搜索法进行了修正, 使分区搜索法能与现有解析模拟法媲美。

设已满足精度要求的待评定精度量个数与其总数之比为 $D\%$ 。当 $D\%$ 大于该参数的指定值 $D_0\%$ 时, 开始局部改善。局部改善针对精度最弱的待评定精度量, 在其附近选择一个使整个网中不满足精度量个数减少最多的观测量, 直到所有待评定精度量都满足要求为止。必须强调一下, $D_0\%$ 的选择对优化结果有一定的影响。本文通过几个网的实际计算得出: $D_0\%$ 在 $85\sim95\%$ 之间为最佳。

如果仅采用局部改善, 也可以得出一“优化”结果。这就相当于在分区搜索方法中将子区域分得很小, 每个子区域中仅包含一个或两个点。显然, 其结果是很不理想的。因此, 用局部改善修正分区搜索方法是必要的。

上述观测量定型、定位就构成了完整的分区搜索法。

4 連續網模擬優化方法

連續網模擬優化方法同樣包括: 初始網形確定、初始觀測方案確定、優化準則選擇和附加觀測量選擇幾個方面。

根據連續網的特點, 其初始網形和觀測方案一般按《規範》確定。不過觀測精度可適當降低, 然後通過附加其它類型觀測量達到預期的要求。

優化準則常為 (6)、(7)、(8)式之一。

$$\max(m_{s_i}/S_i) \leq (m_s/S)_0 \quad (6)$$

$$\max(m_{A_i}) \leq (m_A)_0 \quad (7)$$

$$\max(m_{P_i}) \leq (m_P)_0 \quad (8)$$

附加觀測量選擇方法採用本文建立的分区搜索法。其中, 附加觀測量的優劣標準可取為 (9)、(10)、(11)之一。

$$[\sum m_i]/n = \min \quad (9)$$

$$\sum(F(m_i)) = \min \quad (10)$$

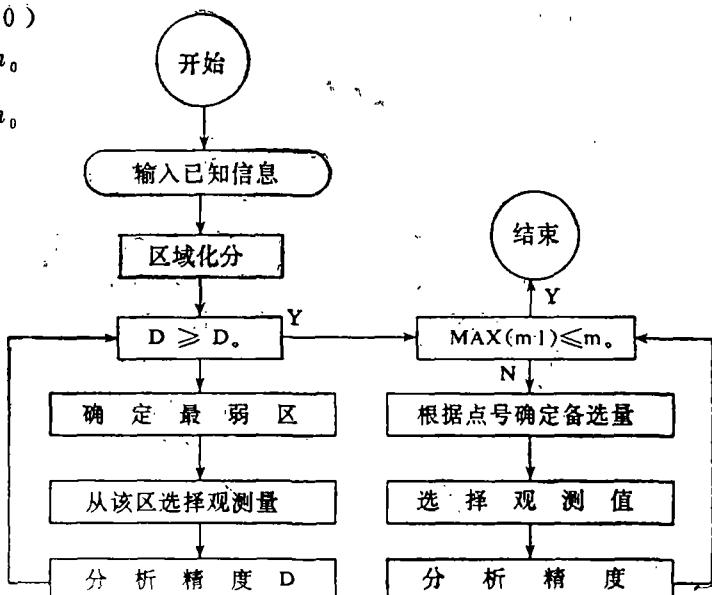
$$\text{其中 } F(m_i) = \begin{cases} 1 & m_i > m_0 \\ 0 & m_i \leq m_0 \end{cases}$$

$$\max(m_i) = \min(11)$$

这样，本文建立的连续网模拟优化方法可用图(3)所示的框图表示。

5 軟件及应用

作者根据本文建立的分区搜索方法，在西门子7570中型机上编写了相应的软件。用该软件对分区搜索方法和解析模拟法的收敛速度和优化结果作了比较。



3

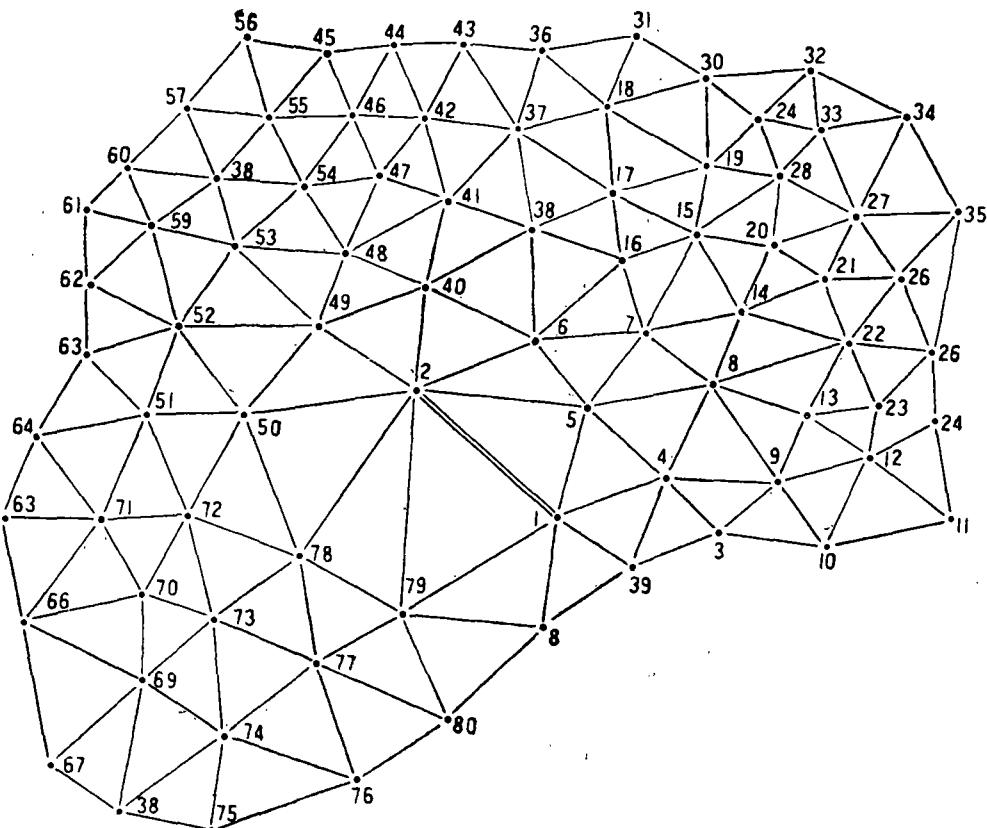


图 4

文献〔1〕中的模拟三角网，用解析模拟法优化需要计算时间(CPU)3147秒。用分区检索法(分为16个区， $D_0\%$ 取90%)需要335秒。因此，分区搜索方法的收敛速度可提高10倍左右，并且控制网点数越多越能显示出这一优点。

图4是某城市二等方向网， $m_s = 0.7''$ 。要求通过附加15公里范围内的边长(边长观测精度为 $5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$)，使最弱边边长相对中误差优于 $1/200\,000$ 。

分别采用本方法和解析模拟法优化设计，结果列于表2、表3。

表2 分区搜索法选择的观测量

序号	对应点号	序号	对应点号	序号	对应点号
1	46—58	2	7—21	3	60—59
4	60—57	5	80—81	6	11—10
7	30—18	8	60—61	9	24—22
10	67—68	11	64—51	12	68—75
13	36—43	14	62—52	15	32—28
16	64—65	17	43—42	18	39—1

表3 解析模拟法选择的观测量

序号	对应点号	序号	对应点号	序号	对应点号
1	7—21	2	64—72	3	60—61
4	80—81	5	57—55	6	11—10
7	30—18	8	60—58	9	67—68
10	24—22	11	57—56	12	57—58
13	68—75	14	36—43	15	62—52
16	32—28	17	43—42	18	39—1

从表(2)、表(3)可以看出：本方法所选择观测量的数量和分布与解析模拟法基本上一致。这充分说明了分区搜索方法的正确性。

6 结 论

(1) 本文建立的分区搜索方法具有收敛速度快，选择的观测量与解析模拟法结果基本上一致。对连续网优化设计和改进有一定的实用价值。

(2) 在分区搜索法中，区域划分和参数 $D_0\%$ 的选择对优化结果和计算速度都有显著影响。本文通过适量的计算对分区方法和参数 $D_0\%$ 进行了分析，得出了相应的结论。更好的方法还有待于进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 周忠谋. 连续三角网的最优化. 测绘出版社, 1987.
- [2] 薄志鹏, 晏定波. 大地控制网优化设计方法. 武汉测绘科技大学讲义, 1987
- [3] Grafarend E. Optimization and design of geodetic networks. Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- [4] P Gross. Computer aided design of geodetic networks. DGK Reihe B/258, Munchen, 1982.

On methods of Optimal Simulation of Areal Geodetic Networks

Ge Maorong

(Qinghua University)

Abstract

A method for fast choosing optimal additional observations was advanced, in accordance with digital analysing results of the precision of areal geodetic networks. In terms of this method, the analytical simulation method was successfully applied to optimal design and improvement of middle large-scale areal geodetic networks.

【Key words】 areal geodetic network; simulation optimization; blocking searching for