

# 数字摄影测量基本知识培训手册

## 目录

- 一. 测绘基本概念
  - I. 一些常用术语
    - 1. 误差
    - 2. 精度(精确度)
    - 3. 测量平差
    - 4. 三角测量
    - 5. 4D 产品
    - 6. 三 S
  - II. 坐标系统
    - 1. 大地坐标系
    - 2. 高斯平面直角坐标系
    - 3. 其它坐标系:
    - 4. 高程基准
  - III. 常用测量仪器
    - 1. 经纬仪
    - 2. 水准仪
    - 3. 激光测距仪
    - 4. 全站仪
    - 5. 全球定位系统
    - 6. 立体测图仪
    - 7. 解析测图仪
    - 8. 正射投影仪
    - 9. 航空摄影机
    - 10. 编辑工作站
    - 11. 数控绘图机
  - IV. 大地测量
    - 1. I、II 等三角点
    - 2. 大地三角网
    - 3. 国家高程控制网
    - 4. 大地坐标带
  - V. 工程测量
    - 1. 工程测量的应用范围
    - 2. 工程测量的内容
    - 3. 平面控制测量
    - 4. 高程控制测量
    - 5. 地形测量
    - 6. 施工测量
    - 7. 变形测量
  - VI. 地面摄影测量和近景摄影测量
    - 1. 地面摄影测量的特点
    - 2. 地面摄影测量的应用范围
  - VII. 全球定位系统
    - 1. 卫星定位的基本原理
    - 2. GPS 卫星定位的分类

3. GPS 的用途

4. GPS 的精度

#### VIII. 遥感

1. 传感器的类型

2. 常用的卫星图象

3. 遥感图象处理

4. 遥感的主要应用领域

#### IX. 地理信息系统

1. 基本概念

2. 地理信息系统与一般信息系统

3. GIS 与数字地图

4. 国内应用较广泛的 GIS 软件平台

#### X. 数字地面模型及其应用

1 数字地面模型的概念

2 数字地面模型的种类

3 DEM 数据点采集方法

4 数字地形模型软件

5 数字地形模型的应用

### 二. 航空摄影测量

1. 航空摄影

2. 外业控制测量与调绘

3. 解析空中三角测量

4. 数据采集—测图

5 原图编辑

6 原图清绘

7 业补测、补调

### 三. 数字摄影测量基本概念

1. 数字摄影测量的定义

2. 数字影象获取与重采样

3. 影象匹配的基本概念

4. 影象相关原理

5. 二维相关与一维相关

6. 金字塔影象

7. 特征匹配与整体匹配

8. 影象匹配的精度

9. 数字微分纠正原理

10. 遥感图象的复合

11. 景观图的制作原理

12 影象解译—地物提取

### 四. 数字摄影测量系统

I. 世界上知名的数字摄影测量系统简介

II. VirtuoZo NT 生产作业流程

# 一. 测绘基本概念

## I. 一些常用术语

### 1. 误差 error

#### a. 系统误差 systematic error

测量的误差在大小和符号上趋于一致,或按一定规律变化,或保持为常数.

#### b. 偶然误差 random error

偶然误差也叫随机误差.其误差量值和符号的变化是没有规律的.

#### c. 粗差 Gross error or blunder

粗差也称错误,一般大于 5 倍的中误差.

### 2. 精度(精确度) accuracy

评定测量成果质量的数量指标.

#### a. 平均误差 average error

$$M_{av} = \sum \Delta / n;$$

#### b. 中误差 RMSE(Root Mean Square Error)

$$M = \sqrt{\sum \Delta^2 / n};$$

#### c. 极限误差 Limit error

$$2M$$

#### d. 相对误差 relative error

中误差与观测值之比叫做相对中误差. 航测中常用航高的几百分之一来表示高程精度,例如  $H/8000$ .

#### e. 标准偏差 standard deviation

与中误差类似,欧美国家常用的评定精度指标.

### 3. 测量平差 Survey adjustment

对一组观测值的误差进行合理配赋, 求出最可靠的计算值作为终值, 并对结果的精度进行评定.

最小二乘法 (Least Square Method) 是测量平差的基础. 其基本原理是:

$$\sum P V V = \text{minimum};$$

### 4. 三角测量 Triangulation

通过观测三角网内各三角点上所有三角形的内角, 并测定三角网的一些边, 由某一三角点的已知坐标及一边的方位角, 根据三角形的几何关系, 推算其他点的坐标, 这些测量与计算工作叫做三角测量.

### 5. 4D 产品 4D products

#### a. DEM (DTM) — Digital Elevation Model (Digital Terrain Model) 数字高程模型 (数字地面模型)

#### b. DOM (Digital Orthophoto Map) 数字正射影像图

#### c. DLG (Digital Line Graph) or DTI (Digital Thematic Information) 数字线划图或数字专题信息

#### d. DRG (Digital Raster Graph) 数字栅格图

### 6. 三 S — GPS, GIS, RS

#### a. GPS-Global Positioning System 全球定位系统

b. GIS-Geographic Information System 地理信息系统

c. RS-Remote Sensing 遥感

## II. 坐标系统      Coordinate systems

### 1. 大地坐标系      Geodetic coordinate system

大地参考 reference system: 克拉索夫斯基参考椭球体

大地经度 longitude

大地纬度 latitude

大地方位角 azimuth

### 2. 高斯平面直角坐标系      Gauss planar rectangular coordinate system

投影面 project plane: 高斯-克吕格正形投影面, 一种横轴圆柱投影.

1954 北京坐标系

### 3. 其它坐标系:

UTM 墨卡托投影坐标系: Universal Transverse Mercator Projection

WGS 84 坐标系

### 4. 高程基准 Vertical datum

1956, 1985 黄海高程系

## III. 常用测量仪器

1. 经纬仪 theodolite

2. 水准仪 level or leveling instrument

3. 激光测距仪 Laser geodimeter

4. 全站仪 total station

5. 全球定位系统 GPS- Global Positioning System

6. 立体测图仪 Stereoplotter

7. 解析测图仪 Analytical stereoplotter

8. 正射投影仪 Orthophoto projector

9. 航空摄影机 Aerial camera

10. 编辑工作站 Editing workstation

11. 数控绘图机 Digital plotter

## IV. 大地测量      Geodesy

### 1. I, II 等三角点      Triangulation points of grade I, II

I、II 等三角点, 是构成国家大地三角网的高等级埋石标志点。

### 2. 大地三角网      Geodetic triangulation network

大地三角网, 是指由 I、II 等三角点组成的国家 I 等骨架三角锁和 II 等三角网。

### 3. 国家高程控制网      National Elevation Control Network

国家高程控制网由高精度的一、二等水准路线网构成。然后在此网内用三、四等水准网加密, 以便控制地形测图。

#### **4.大地坐标带      Geodetic zone**

6 度带 - 以格林尼治零子午线为准,沿经线按 6 度经差分带。

3 度带 - 城市测量, 工程测量等一般按 3 度带计算高斯平面直角坐标。

### **V.工程测量      Engineering Survey**

#### **1.工程测量的应用范围      Application area of engineering survey**

工程测量覆盖的范围, 包括城市建设、工业企业、交通运输、水利工程等领域的勘察、设计、施工及运营阶段的测绘工作。

#### **2.工程测量的内容      Contents of engineering survey**

工程测量的主要内容, 包括平面控制测量、高程控制测量、地形测量、施工测量、变形测量等。

#### **3.平面控制测量      Planimetric control survey**

工程测量中的平面控制测量, 一般应与高等级国家三角点联测。平面控制网可采用三角测量, 导线测量或三边测量, 网的等级分为 II、III、IV 等以及一、二级小三角、小三边。

#### **4.高程控制测量      Vertical control survey**

高程控制测量, 可采用水准测量和电磁波测距三角高程测量。高程控制测量的等级, 划分为 II、III、IV、V 等。

#### **5.地形测量      Topographic survey**

工程测量中的地形测量, 包括测绘 1: 500, 1: 1000, 1: 2000, 及 1: 5000 比例尺的全要素地形图。测绘的内容包括地貌、居民地、道路、水系、植被、行政区划、管线、工矿建筑物等。

#### **6.施工测量      Construction survey**

施工测量是指工业与民用建筑, 水工建筑, 矿山建筑, 及道路、桥梁、隧道等施工场地测量。施工测量包括施工场地控制测量和施工放样测量。

#### **7.变形测量      Deformation survey**

变形测量的应用范围, 包括工业与民用建筑物, 地基基础, 中小型水坝以及山体滑坡等。变形测量需要分别建立水平位移检测网和垂直位移监测网, 并进行周期性地变形观测。

### **VI. 地面摄影测量和近景摄影测量      Ground and Close-range Photogrammetry**

#### **1. 地面摄影测量的特点      Characteristics of ground photogrammetry**

- a.使用地面摄影测量专用的摄影机;
- b.在地面上对目标进行摄影,摄取立体像对;
- c.实地测定摄影站点和控制点的地面坐标,即地面摄影像对的外方位元素皆是已知的;
- d.使用摄影测量方法立体测绘地物地貌.有专门的地面摄影立体测图仪,某些航空摄影测量的全能型精密型立体测图仪以及解析测图仪,也可以作地面摄影测绘。

e. 摄影方式:正直摄影,等偏摄影,交向摄影以及等倾摄影。

## **2. 地面摄影测量的应用范围 Application area of ground photogrammetry**

- a. 陡峻的山区等特殊地区;
- b. 铁路站场、桥梁、隧道、泵站、矿井等须测绘 1:500 或更大比例尺的工点图;
- c. 航空摄影漏洞地面补充测量。

## **3. 近景摄影测量的特点 Characteristics of close-range photogrammetry**

- a. 近景摄影测量一般属于地面摄影测量的范畴;
- b. 摄影距离一般在 100 米以内;
- c. 可使用量测摄影机和非量测摄影机;
- d. 非量测摄影机通常需经专门的试验室检定;
- e. 直接线性变换解析算法,不需要像片上有框标,也不需要摄影机的内方位元素和外方位元素,但须有较多的控制点。

## **4. 近景摄影测量的应用范围 Application area of close-range photogrammetry**

- a. 结构物的变形测量;
- b. 古建筑的现状测绘;
- c. 人类躯体测绘;
- d. 需精确测求物体大小、形状或体积的其它测绘项目。

# **VII. 全球定位系统 GPS—Global Positioning System**

## **1. 卫星定位的基本原理 Basic principle of satellite positioning**

地面接收机同时接收 4 颗以上的卫星信号,可以记录求出每个卫星信号传至接收机的时间  $\Delta t$ ,将  $\Delta t$  乘以光速即可得到卫星至接收机的距离,而卫星的位置是已知的,从而可计算出接收机所在地面位置的三维坐标。当然,实际算法是很复杂的而且需要加入一系列的补偿改正。

## **2. GPS 卫星定位的分类 GPS Classification**

- a. 静态定位 Static positioning
- b. 动态定位 Dynamic positioning
- c. 单点定位 Single point positioning
- d. 相对定位 Relative positioning
- e. 实时差分定位 RTK—Real time kinematic differential positioning
- f. 单频接收机 Single frequency receiver
- g. 双频接收机 Dual frequency receiver

## **3. GPS 的用途 GPS applications**

- a. 飞机、舰船导航 Plane and ship navigation
- b. 导弹制导 Missile guiding
- c. 精密定位 Precision positioning
- d. 大地测量 Geodetic surveying
- e. 工程测量 Engineering surveying

f. 动态监测 Dynamic supervision

#### 4. GPS 的精度 GPS accuracy

- a. 单点定位精度 (Accuracy of single point positioning):  
10—20 m
- b. 基线测量精度 (Accuracy of baseline) : 5mm+1ppm
- c. RTK 实时测量精度 (Accuracy of RTK GPS) : 1CM+2PPM

## VIII. 遥感 Remote Sensing

遥感与摄影测量即航测的关系非常密切。1980 年“国际摄影测量学会”，正式改名为“国际摄影测量与遥感学会”。并且在第 14 届大会上提出了摄影测量与遥感的新定义：“使用一种传感器，根据电磁波的辐射原理，不接触物体而通过一系列的技术处理，获得物体的物理与几何性质。”

#### 1. 传感器的类型 Type of sensors

- a. 多光谱扫描仪系统 MSS—Multi-spectral Scanning System
- b. 全景摄影机 Panoramic camera
- c. 红外扫描仪 Infrared scanner
- d. 彩红外摄影机 Color infrared camera
- e. CCD(电耦合器件) 阵列扫描仪 CCD matrix scanner
- f. 合成孔径雷达 SAR—Synthetic Aperture Radar
- g. 侧视雷达 Side-looking Radar

#### 2. 常用的卫星图象 Main satellite images

- a. MSS 多光谱卫星图象 (陆地卫星) 分辨率 79m MSS  
(LANDSAT) satellite image resolution 79m
- b. TM (专题制图) 卫星图象 (陆地卫星) 分辨率 30m  
TM (LANDSAT Thematic mapping) satellite image resolution 30m
- c. SPOT (CCD) 卫星图象 分辨率 10 m  
SPOT (CCD) satellite image resolution 10m
- d. ISR 卫星图象 分辨率 5m  
India Remote Satellite Image resolution 5m

#### 3. 遥感图象处理 Remote sensing image processing

- a. 图象几何纠正 Image geometric correction
- b. 图象增强处理 Image enhancement processing
- c. 数据复合 Data synthesis
- e. 特征提取 Feature abstract
- f. 数据分类 Data classification
- g. 图象滤波 Image filtering

#### 4. 遥感的主要应用领域 Main application area of remote sensing

- a. 矿产资源勘查 Mine resource exploration
- b. 农作物产量估算 Estimation of grain output
- c. 林业资源分类和森林火灾监测 Resource classification  
and fire supervision of forests
- d. 环境监护 Environmental supervision and protection
- e. 专题制图 Thematic mapping
- f. 地质水文勘察 Geologic and hydrographic survey
- g. 灾害的预报和监测 Disaster predict and supervision

## IX. 地理信息系统    GIS—Geographic Information System

### 1. 基本概念      Basic concept

地理信息系统是以计算机软硬件为平台, 以地理信息为基础, 包括图形信息、图象信息和属性信息的空间信息系统, 具有信息输入、存储、管理、分析、检索、输出等功能。

### 2. 地理信息系统与一般信息系统      GIS and affair information system

一般信息系统包括企业管理信息系统、金融信息系统、交通信息系统、经营信息系统、人事信息系统等等。这些事务性的信息系统, 通常是以特定的属性信息数据库为基础, 虽然也具有信息系统的基本功能, 但并不以地理空间信息为基础。它们比地理信息系统的数量要小得多, 复杂程度也要简单很多。

### 3. GIS 与数字地图      GIS and digital map

数字地图是 GIS 的重要数据源, 也是 GIS 可视化产品的数字化表达形式。虽然使用地图数据库来管理数字地图, 也可以有空间查询、检索、分析功能, 但是它仍不可能像 GIS 那样, 综合图形数据、图象数据和属性数据进行深层次的空间分析, 提供规划、管理和决策信息。

### 4. 国内应用较广泛的 GIS 软件平台      Main GIS software platforms

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| a. ARC/Info            | ESRI(US)            |
| b. MapInfo             | MapInfo (US)        |
| c. MGE (including MGA) | Intergraph (US)     |
| d. GenaMap             | GENASYS (Australia) |
| e. MAPGIS              | 武汉地质大学              |
| f. GeoStar (吉奥之星)      | 武汉测绘科技大学            |

## X. 数字地面模型及其应用    Digital Terrain Model and Applications

### 1. 数字地面模型的概念      Concept of DTM

数字地面模型 (Digital Terrain Model), 简称数地模 (DTM), 是描述地表形态的一系列点坐标值 (X, Y, Z) 的集合, 即地形特征的空间分布。

数字地面模型这一概念, 是由美国麻省理工学院教授 Charles L. Miller 于五十年代后期提出的, 首先用于公路工程设计。

### 2. 数字地面模型的种类      Classification of DTM

数字地面模型, 可根据其数据结构、建立方法、用途等进行分类。DTM 可以定义为二维区域上的地形、地质、资源、环境、土地利用、人口分布等多种信息。

#### 1). 数字地面模型 DTM

DTM 是以一系列三维坐标点 (包括平面坐标 X, Y 和高程 Z) 表示的地形表面数字模型。

#### 2). 数字高程模型 DEM



DEM (Digital Elevation Model) 是 DTM 的特例或子集, 定义为二维区域上的高程。DEM 中点的平面位置, 通常是按规则排列的, 如矩形格网, 其精确位置 (坐标) 可根据所在的行列序号、格网间距及起始点的已知绝对坐标, 快速计算出来。

数字高程模型也叫 DHM——Digital Height Model.

### 3) 离散点 DTM

离散点 DTM, 是指表示地表形态的地形点位置为随机的, 不规则的。例如, 沿等高线及地形特征线采样生成的 DTM。

### 4) 三角网数字地面模型 TIN

三角网 DTM, 是指按一定规则构成的不规则三角网 TIN (Triangulated Irregular Network)。通常是将按地形特征采集的点, 连接成覆盖整个区域且互不重叠的三角形。建立 TIN 的规则, 主要是基于最佳三角形的条件, 即尽可能使每个三角形保持锐角三角形或三边的长度近似相等, 避免出现过大的钝角和过小的锐角。

三角网数字地面模型 TIN 由于能够很好地顾及地貌特征点、线, 表示复杂地貌形态比矩形格网 (Grid) 更精确, 近年来得到了较快的发展和应用。TIN 的缺点在于, 它比矩形格网 DEM 更复杂, 它不仅存储每个点的高程, 还要存储其平面坐标、网点连接的拓扑关系、三角形及邻接三角形等信息。

## 3. DEM 数据点采集方法

### 1) 地面测量

利用全站仪等带自动记录装置的地面测量仪器, 在野外实地采集地形点。

### 2) 既有地形图数字化

- a. 利用数字化仪进行手扶跟踪;
- b. 利用扫描数字化仪扫描地形图, 再半自动跟踪进行矢量化处理。

### 3) 模拟机助测图系统

在模拟立体测图仪机助测图系统上, 通常采用等高线方式采集 DTM, 同时量测地形特征点、特征线。

### 4) 解析测图系统

在解析测图仪上, 可以较灵活地沿断面、等高线、离散点等多种方式进行 DTM 点采样。

### 5) 数字摄影测量系统

高效、自动提取 DTM/DEM, 加上预处理和多种编辑功能, 是数字摄影测量系统的突出优点之一。

### 6) GPS 全球定位系统

测量型的 GPS 全球定位系统, 特别是带动态实时差分 GPS, 可以在野外采集 DTM 数据点。

## 4. 数字地形模型软件

数字地面模型 DTM 的理论和实践由数据采集、数据处理及应用三个部分组成。DTM 的数据处理和应用, 需要专门的 DTM 软件完成。

DTM 的数据处理，包括数据的组织、存储、抽取、内插，距离、面积、体积、断面、土方计算等。

国际上比较著名的 DTM 软件包，有德国斯图加特大学的 SCOP 程序，慕尼黑大学的 HIFI 程序，奥地利维也纳大学的 SORA 程序，瑞士苏黎士工业大学的 CIP 程序等。

## 5. 数字地形模型的应用

- 1) 道路等工程计算机辅助设计
- 2) 生成等高线
- 3) 制作正射影像图
- 4) 制作立体透视图和立体景观图
- 5) 土石方工程数量计算
- 6) 绘制坡度图、剖面图及地貌渲晕图
- 7) 军事上用于巡航导弹地形配准制导
- 8) 制作军事电子沙盘
- 9) 建立地形数据库等

## 二. 航空摄影测量

### Aerial Photogrammetry

#### 1. 航空摄影 Aerial photography

##### a. 航空摄影机 Aerial camera

Leica: RC10, RC30

Zeiss: RMK, LMK

##### b. 航摄仪焦距 Focal length

窄角: 300 mm

常角: 210 mm

宽角: 153 mm

特宽角: 70 -- 100 mm

##### c. 像幅 Format 180mm\*180mm

230mm\*230mm

##### d. 像片倾斜角 Photo tilts and rotates angle

航向和旁向倾角: < 3--5 度

航偏角: < 15 度

##### e. 像片重叠度 Photo overlap

航向:  $\geq 60\%$

旁向:  $\geq 30\%$

##### f. 摄影比例尺 Photo scale

M 图:M 像 = 5 倍左右

#### 2. 外业控制测量与调绘 Field control survey and Identification

##### a. 控制点布设 Control planning

平面控制点一般布设在所测区域的四角及周边, 高程控制点则根据精度要求按基线数敷设高程导线。

##### b. 地面标志布设 Ground mark arrangement

对于高精度的测绘项目,在航空摄影前应在计划的平面控制点位置布设特定形状的标志。

c. 控制点联测 Control surveying

一般应先与高等级的国家三角点联测,控制点实测可用全站仪,激光测距仪, GPS 全球定位系统等仪器进行。

d. 野外调绘 Field Identification

外业调绘系指利用航摄像片,放大像片或地形原图,实地辨认并绘注植被边界,电力线,通讯线,以及道路,居民地,水系的名称等。

### 3. 解析空中三角测量 Analytical aerial triangulation

a. 刺点 Point marking

在涤纶像片上利用精密刺点仪,将选定的内业加密点刺出并编号标注。

b. 立体观测 Stereo observation

在精密立体坐标量测仪或解析测图仪上,立体量测加密点及框标在左右像片上的坐标。

当作业人员通过观测系统使左右眼分别观察左片和右片,则可看到重建的立体光学模型。

其他建立立体视觉的方法,包括:

互补色法 (Complement color);

偏振光立体眼镜 (Polarized stereo eyeglasses and emitter) 法;

液晶立体眼镜 (liquid crystal eyeglasses and emitter) 法等。

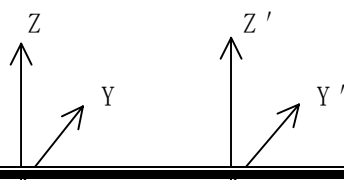
c. 内定向 Internal orientation

内定向是指根据量测的像片四角框标坐标和相应的摄影机检定植,恢复像片与摄影机的相关位置,即确定像点在像框标坐标系中的坐标。

d. 相对定向 Relative orientation

相对定向的含义是,恢复摄影瞬间立体像对内左右像片之间的相对空间方位。确定两个像片的相对空间方位需要 5 个参数。相对定向的数学关系通常用同名光线共面条件表示,即左右摄影中心至地面点的两条光线共面。相对定向一般假定左像片保持水平不变,右片相对左片的五个参数通常以基线分量  $B_x$ ,  $B_y$  和右片的旋转角  $\Phi$ ,  $\omega$ ,  $K$  表示。相对

定向方程式为非线性函数,需要将其线性化。相对定向至少需量测 6 个定向点,利用最小二乘法平差解算。



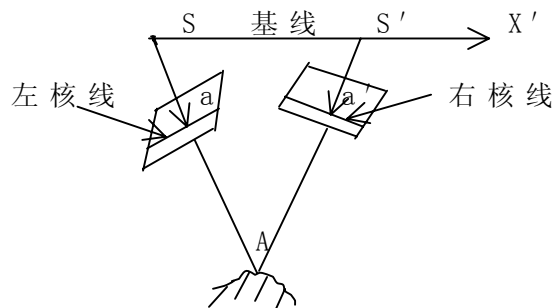


图 1. 立体像片对示意图

#### d. 绝对定向 Absolute orientation

绝对定向也称大地定向,是指确定立体模型或由多个立体模型构成的区域的绝对方位,也就是确定立体模型或区域相对地面的关系.绝对定向参数为 7 个.

#### e. 区域平差 Block adjustment or Block aerotriangulation

区域平差也称区域空中三角测量,俗称电算加密,是对整个区域网进行绝对定向和误差配赋.区域平差目前一般采用独立模型法或光线束法.独立模型法是以单个立体模型为单元;而光线束法则以单张像片为单元。

#### g. 联合平差 Simultaneous adjustment

联合平差是指,摄影测量数据与非摄影测量数据的整体联立解算。联合平差也称,带辅助数据的解析空中三角测量。辅助数据系指大地测量观测数据,例如地面距离、水平角、方位角,像片外方位元素,湖面点等高等条件。目前,联合平差主要是指,摄影测量数据与机载 GPS 精确定位数据的同时整体解算。这是解析空中三角测量的一项重要进展,可以实现少地控或无地控空中三角测量。

#### h. 加密成果 Triangulation results

解析空中三角测量的成果,包括所有加密点的三维坐标和像片的外方位元素。每张像片外方位元素有 6 个,包括像片对应的摄影中心坐标和三个绝对角元素。

### 4. 数据采集—测图 Data collection—Mapping

#### a. 内定向 Inner orientation

在立体测图仪上的内定向,是通过严格的装片来实现的,即使用对点器——一种精巧的放大镜,分别地将涤纶像片上的框标精确对准承片盘上的相应框标.从而就实现了恢复像片内方位元素。

对于解析测图仪,则只需将像片的基线大致平行于仪器的 X 轴.像片的内定向,是通过精确量测像片的四角框标,利用严密的解析公式计算求解,同时进行像片的变形改正。

#### b. 相对定向 Relative orientation

对于模拟型立体测图仪,包括机助测图系统,立体像片对的相对定向,是通过左右像片车架的空间运动来实现的,以便消除

立体模型内各点的上下视差，从而实现恢复立体像对左右片在摄影瞬间的相对空间方位。解析测图仪的相对定向，与解析空中三角测量的相对定向算法相同，而且可以利用加密成果中的像片外方位元素直接进行安置，可以加快相对定向的速度。

#### **c.绝对定向 Absolute orientation**

传统的模拟立体测图仪绝对定向，通常分成高程置平和平面对点两个步骤来完成的。立体模型的绝对定向，通常需要 6 个已知平高定向点，至少应有 4 个平高点。

解析测图仪和机助测图系统，立体模型的绝对定向，是按三维正形变换算法，利用最小二乘法进行平差解算的。

#### **d.地物采集 Feature collection**

作业人员在完成立体模型的绝对定向后，需经专职质量检查人员联机检查，确认精度符合要求后，方可进行地物采集。应参照外业调绘片，在立体模型上仔细辨认，分类进行测绘。对于数字化测图，应按统一的地物编码系统分类进行采集，并且分层进行存储。同时采集的数据还应加上地物属性，以方便于同 GIS 建立接口。为了便于在采集和编辑中明显地区分不同的地物，各种现状地物通常赋予相应的颜色。

#### **e.地貌采集 Capture of topographic data**

在传统的模拟测图中，包括机助测图中，地貌采集是由等高线描绘和注记高程点两个部分组成的。等高线的基本等高距，应按规范根据成图比例尺、地形类别及用图需要选定；计曲线则取基本等高距，即首曲线的 5 的倍数。

高程注记点，一般选在明显地物点和地形点上，依据地形类别及地物点和地形点的多少，其密度规范规定图上每 10cm × 10cm 为 5—20 个点。

在解析测图仪上，地貌测绘可以有多种选择方式，除按等高线和高程注记点外，还可采用按程序控制的矩形格网或断面方式采集地形点。

### **5.原图编辑 Editing of original map**

地形原图编辑包括，对原图中地物地貌表示不合理之处的处理，相邻图幅的接边处理，以及道路、河流、街道等名称的注记。

### **6.原图清绘 Map drafting**

在传统的模拟测图中，原图清绘的主要任务是在铅笔稿原图上进行清理着色，或者在聚脂薄膜上刻绘。

对于数字化测图，在经过图形编辑和审校后，可直接利用高精度绘图机绘制线划地形图，还可用磁介质提供数字地形图产品。

### **7.外业补测、补调 Field additional identification and survey**

对于航摄漏洞，像片在摄影时被烟云遮盖或地物为阴影所遮挡部分，以及城镇大比例尺测图中量注屋檐等，均须实地进行补充调绘和地面测绘。在这种情况下，尚需进行二次编辑。

## **三. 数字摄影测量基本概念**

## **Basic concept of digital photogrammetry**

## 1. 数字摄影测量的定义 Definition of digital photogrammetry

目前，世界上对于数字摄影测量的定义，主要有两种观点。

a. 数字摄影测量是基于数字影象和摄影测量的基本原理，应用计算机技术、数字影象处理、影象匹配、模式识别等多学科的理论与方法，提取所摄对象以数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量学的分支学科。

美国等国称之为软拷贝摄影测量 (Softcopy Photogrammetry)，我国王之卓教授称为全数字摄影测量 (Full Digital Photogrammetry)。这种定义认为，在数字摄影测量过程中，不仅产品是数字的，而且中间数据的记录以及处理的原始资料均是数字的。

b. 另一种定义，则只强调其中间数据记录及最终产品是数字形式的，即数字摄影测量是基于摄影测量的基本原理，应用计算机技术，从影象（包括硬拷贝，数字影象或数字化影象）提取所摄对象以数字方式表达的几何与物理信息的摄影测量分支学科。

这种定义的数字摄影测量，包括计算机辅助测图（常称为数字测图）与影像数字化图。

影象数字化测图，是利用计算机对数字影象或数字化影象进行处理，用计算机视觉（其核心是影象匹配与影象识别）代替人眼的立体量测与识别，完成影象几何与物理信息的自动提取。

还有一种类型称之为混合数字摄影测量，通常是在解析测图仪上安装一对 CCD 数字相机，对要量测的局部影象进行数字化，有数字相关（匹配）获得点的坐标。

## 2. 数字影象获取与重采样 Acquiring and resampling of digital image

### 1) 。数字影象

数字影象是数字摄影测量的基础原始数据。数字影象是以象元（象素 pixel= picture element）为单位，以灰度值表示的灰度矩阵。也就是说，在扫描过程中将光学影象抽象为像元的点阵，每个像元范围（一个微小的区域）取灰度的平均值作为灰度值。

在解析摄影测量中，一个目标点向量  $X_{ap}$  是三维的

$$X_{ap} = (X, Y, Z)^t$$

数字摄影测量与解析摄影测量及模拟摄影测量的根本区别，在于对影象辐射信息的计算机数字化处理。在全数字化摄影测量中，目标点向量  $X_{dp}$  为 4 维

$$X_{dp} = (X, Y, Z, D)^t$$

其中  $D = D(X, Y)$  是该点的辐射量——影象的密度或灰度值，集合  $\{D\}$  就构成了数字影象。

### 2). 数字影象获取 Digital image collection

数字影象可直接从装在飞行器上的传感器产生，记录在磁介质上；也可以利用影象数字化器对摄取的光学影象扫描来获取，即把原来模拟方式的信息转换成数字形式的信息。

通常的航空像片，均须利用高精度的专用扫描仪将其数字化。这种扫描仪一般是由 CCD (Charge Coupled Device- 电耦合器件) 阵列传感器组成，分为线阵列和面阵列两种排列方式。

目前，用于数字摄影测量的高精度扫描仪，主要有如下几种：

a. Leica-Helava 公司的 DSW 300 扫描仪

- b. Zess-Intergraph 公司的 PhotoScan 扫描仪
- c. Vexcel VH4000 扫描仪

### 3). 影象重采样 Image Resampling

影象重采样,是指在原采样的基础上再一次采样,即当欲求不位于采样矩阵点的灰度值时,就需要进行内插,乃称之为影象重采样.每当对数字影象进行几何处理时,就需要作影象重采,影象的旋转、核线影象排队以及数字影象纠正,均属于影象重采样.

### 4). 影象数据量

数字影象的每一个数据代表了被摄物体上一个点的灰度或辐射强度,此点称为像元素、或像素、或像元.

像素的灰度值常以 8 位二进制数表示,即一个字节(byte).

像素的间隔即采样间隔,根据采样定理由影象的分辨率确定.当采样间隔为 0.05mm(响应于  $50\mu$ )时,一张  $23\text{cm} \times 23\text{cm}$  的影象约包含 21 M (兆)字节 ( $1\text{M} = 1000000$ ).若采样间隔为  $15\mu$  时,一幅影象的数据量为 70 M 左右.一幅 SPOT 卫星影象约为 36 M 字节.这表明数字影象的数据量是非常庞大的.

## 3. 影象匹配的基本概念 Basic Concept of Image Matching

### 1). 影象匹配的定义 Definition of Image Matching

影象匹配,实质上是在两幅(或多幅)影象之间识别同名点.它是计算机视觉研究的核心问题,也是数字摄影测量的核心问题.

数字影象匹配,是利用计算机以数值计算方式,按特定的算法,根据一定的准则,比较左右影象的相似性,来确定其是否为同名影象块,从而确定相应同名像点.

### 2). 影象匹配研究的内容: Concerning Contents of Image Matching

影象匹配研究的内容,涉及影象匹配的精确性,可靠性,算法的适应性,以及匹配速度等.

### 3). 影象匹配策略: Strategy of Image Matching

- \_ 多级影象匹配;
- \_ 从粗到细的影象匹配;
- \_ 从单点匹配到整体匹配;

## 4. 影象相关原理 Principle of Image Matching

影象相关是利用两个相关函数,评价它们的相似性,以便确定同名点.即首先取出以待定点为中心的小区域中的影象信号,然后取出其在另一影象中相应区域的影象信号,计算两者的相关函数,以相应函数最大值对应的相应区域中心点为同名点,即以影象信号分布最相似的区域为同名区域.同名区域的中心点为同名点.这就是自动化立体量测的基本原理.

最初的影象匹配,是利用相关技术来实现的,随后发展了多种影象匹配方法,所以影象匹配常常被称为影象相关.

## 5. 二维相关与一维相关 2 Dimensional Correlation and Linear Correlation

二维相关一般先在左影象上确定一个待定点,称之为目标点,以此待定点为中心选取  $M \times N$  个像素的灰度阵列,作为目标区或称目标窗口.在右影象上确定可能的搜索范围,相关过程就是依次在搜索区中取出  $M \times N$  个像素灰度阵列,此搜索窗口通常取  $M = N$ ,计算搜索窗口与目标区的相似性测度,当相似性测度取得最大值时,该搜索窗口的中心像素,则认为是待求的同名点.

一维相关,是利用摄影测量中“核线”的特性,将二维相关简化为一维相关. 这里首先介绍核线的含义和特性.核面是通过摄影基线(插图中  $SS'$ )和任一地面点的平面.核面与左右影象相交的线,称为同名像点的左、右同名核线.由上述定义可知核线的特性为:同名像点必然位于同名核线上.根据核线的这一特性,同名像点在右影象的搜索区,就可由面状区域缩小成一个线段——同名右核线.从而可大大提高影象相关的速度.

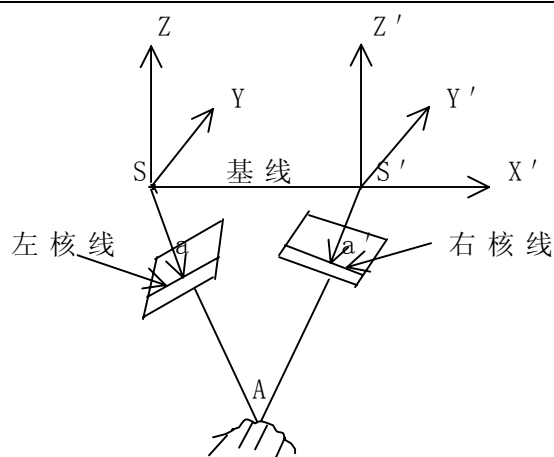


图 1. 立体像片对示意图

## 6. 金字塔影象 Pyramid Image

综合考虑相关结果的正确性(或称可靠性)与精度(准确性),得出目前广泛应用的从粗到精的相关策略.即先通过低通滤波,进行初相关,找到同名点的粗略位置,将其结果作为预测值,逐渐加入较高的频率成分,然后在逐渐变小的搜索区精确相关,最后用原始信号,以得到最好的精度.这就是分频道相关的方法.

对于二维影象逐次进行低通滤波,并增大采样间隔,得到一个像元总数逐渐变小的影象系列,依次在这些影象中相关,即对影象的分频相关.具体做法是,通过每  $2 \times 2 = 4$  个像元平均作为一个像元,构成第二级影象,如此下去,将这些影象叠置起来,很象一座金字塔,因此通常称之为金字塔影象(Pyramid),或分层结构影象(Hierarchical Structure),其每级(层)影象的像元个数,均是其下一层的四分之一.

## 7. 特征匹配与整体匹配 Feature Based Image Matching and Integrated(Global) Image Matching

### 1). 基于特征的特征匹配 Feature Based Image Matching

前述的影象匹配算法,均是在以待定点为中心的窗口(或称区域)内,以影象的灰度分布为影象匹配的基础,故称之为灰度匹配(Area Based Image Matching).

特征匹配或基于特征的特征匹配(Feature Based Matching,在计算机界也称为 Primitive Based Matching),根据所选取的特征,可以分为点特征匹配、线特征匹配及面特征匹配.

一般说来,特征匹配可分为三步:

a. 特征提取;



- b. 利用一组参数对参数进行描述；
- c. 利用参数进行特征匹配。

多数基于特征的匹配方法,也使用金字塔影象结构,即将上一层影象的特征匹配结果,传到下一层作为初始值,并考虑对粗差的剔除或改正。由于基于特征的匹配,是以“整像素”精度定位,因而对于需要高精度的情况,将其结果作为近似值,再利用最小二乘影象匹配进行精确匹配,取得“子像素”级的精度。

## 2). 关系匹配与单像计算机视觉 Relational Image Matching and Monocular Image Computer Vision

影象匹配 — 基于灰度或基于特征的匹配,均是解决影象与影象的匹配问题；

相关匹配 — 可以解决图形的匹配问题。关系匹配(Relational Matching)的核心之一,是结构的描述—关系。这是关系匹配的基础。影象通过特征提取,可以用它的结构来表示,从而可以直接解决影象和相应物体的配准。这就是所谓单像计算机视觉(Monocular Image Computer Vision)。

关系匹配可以用于图象与图象之间的匹配,也可以用于图象与物体之间的匹配。前者属于双像(或多像)匹配,后者即为单像计算机视觉。

## 3). 整体影象匹配 Integrated(Global) Image Matching

基于特征的影象匹配,考虑了目标窗口的信息量,遵循了先宏观、后微观,先轮廓、后细节,先易辨认的部分、后较为模糊的部分这一人类视觉匹配的规律,因而能够提高影象匹配的可靠性。

无论是基于灰度的影象匹配,还是基于特征的影象匹配,都是基于单点的影象匹配,即以待匹配点为中心(或边沿)确定一个窗口,根据一个或多个相似性测度,判别其与另一影象上搜索窗口中灰度分布的相似性,以确定待匹配点的共轭点(同名点)。

整体影象匹配,由于考虑了与周围影象的相容性、一至性、整体协调性,可以纠正或避免错误的结果,从而可提高影象匹配的可靠性。

整体影象匹配算法主要包括: 多点最小二乘影象匹配,动态规划影象匹配,松弛法影象匹配,人工神经网络影象匹配等方法。

## 8. 影象匹配的精度 Accuracy of Image Matching

以影象匹配为基础的数字摄影测量,无论在量测的速度还是达到的精度,都创造了惊人的奇迹,具有速度快、精度高、稳定性好、自动化程度高等特点。例如,利用采样间隔  $50\mu\text{m}$  的数字影象进行相对定向,其残差的中误差(均方根误差)可达  $3-5\mu\text{m}$ ,这相当于在分辨率为  $2\mu\text{m}$  的解析测图仪上人工量测的结果。对于解析测图仪,其点位观测精度通常为分辨率的 2—3 倍。

影象匹配即使在定位到整像素的情况下,其理论精度也可达到 0.29 像素的精度,约为三分之一像素。

在提高量测精度方面,用于单像量测的“高精度定位算子”和用于立体量测的“高精度影象匹配”,其理论精度均可达  $1/10$  像素,即达到子像素级精度。

Ackermann 教授提出的最小二乘影象匹配(Least Square Image Matching),影象匹配可达到  $1/10 - 1/100$  的高精度。

## 9. 数字微分纠正原理 Principle of Digital Differential Rectification

航摄影像为中心投影，要将其变成正直投影，需要进行正射纠正。在模拟摄影测量中，使用纠正仪将航摄像片纠正为像片平面图；在解析摄影测量中，利用正射投影仪，例如 Leica 公司的 OR1，Zeiss 公司的 Z 2，通过机控缝隙光学纠正，制作正射影像地图。这些作正射纠正的仪器，均为光机纠正仪器。

在数字摄影测量中，采用微分纠正方法获取正射影像，即按像点和物点的构像方程式，或按一定的数学模型，根据数字地面模型（DTM）及有关参数，对原始的非正射影像进行映射变换，获取正射影像。

数字微分纠正，依划分的最小纠正单元，可分为点元素纠正和线元素纠正两类。

数字微分纠正与光学微分纠正一样，其基本任务是实现两个二维图象之间的几何变换。

在数控正射投影仪中，是利用反算公式（共线方程式），解求缝隙两端点的对应像点坐标，然后由计算机解求微分线段的纠正参数，通过控制系统驱动正射投影仪的光学、机械系统，实现线元素的纠正。在纠正运算中，任一点的高程  $Z$ ，由 DEM 内插求得。在数字纠正中，则解求对应像元素的位置，然后进行灰度的内插与赋值运算。

数字纠正的实际解法，从原理上来说，是属于点元素纠正，但在实际的软件系统中，均是以“面元素”作为纠正单元的，一般以正方形作为纠正单元。利用反算公式计算该单元 4 个“角点”的像点坐标，再沿  $X$  和  $Y$  方向，在“面元素”内线性内插求得纠正单元的坐标，其实质仍为线元素纠正。

#### 10. 遥感图象的复合 Remote Sensing Image Matching

在遥感图象复合之前，首先应作图象的几何校正，使不同遥感图象在几何上能完全匹配，空间分辨率一致化。例如，要把高分辨率黑白图象与低分辨率多波段图象进行复合，首先需利用控制点将两种图象纠正到同一投影系统，并把低分辨率多波段图象按高分辨率图象像元大小进行重采样。

#### 11. 景观图的制作原理 Principle of Landscape Visualization

若集合  $A$  表示某区域  $D$  上各点三维坐标向量的集合

$$A = \{(X, Y, Z) \mid (X, Y, Z) \in D\}$$

集合  $B$  为二维影像各像素坐标与其灰度的集合

$$B = \{(x, y, g) \mid (x, y) \in d\}$$

其中  $d$  为与  $D$  对应的影像区域，则制作景观图实际就是一个  $A$  到  $B$  的映射， $(X, Y, Z)$  与  $(x, y)$  及观察点  $S$ （视点）满足共线条件。其原理与航空摄影完全相同，所不同的是航空摄影接近于正直摄影，而景观图则是特大倾角“摄影”（将地面点投射到二维影像上），式中的  $g$  为像点  $(x, y)$  对应的灰度值，它可以是航空（航天）影像中相应像素的灰度值，也可以是根据地形及虚拟光源模拟出的值。

模拟灰度景观图：在 DTM 透视图经过隐藏线、面的消隐处理之后，再用明暗度公式计算和显示可视面的亮度或颜色，其真实感又进一步提高。

真实景观图：真实景观图的制作原理，和模拟景观图相似，即在 DEM 透视图的基础上，对每一像素赋予一灰度值（或彩色），而且是取自对实地所摄影像的真实灰度值。

利用数字摄影测量系统自动提取 D T M 和制作正射影像图, 已成为成熟的技术。目前, 研究重点是影像特征的提取, 以适应城市、工程等领域大比例尺数字测图地物的识别与提取。

摄影测量的两项基本任务, 是对影像的量测与理解(识别)。基于立体像对的量测, 是提取物体三维信息的基础。常规摄影测量方法, 采用人工目视在立体影像中识别判读物体。

数字摄影测量中, 各种特征提取的算法很多, 可分为点特征、线特征与面特征的提取。数字摄影测量中对居民地、道路、河流等地面目标的自动识别与提取, 主要是依赖于对影像结构与文理的分析。在该领域已经有了较好的研究成果。VirtuoZo NT 数字摄影测量系统, 在道路和房屋的半自动提取方面, 已取得重大突破性进展, 达到了生产实用程度。

## 四 . 数 字 摄 影 测 量 系 统                      Digital Photogrammetric System

### I . 世界上知名的数字摄影测量系统简介

#### 1. Helava 数字摄影测量系统

##### a. 硬件配置:

扫描仪: DSW 300

分辨率: 0.5  $\mu$

精确度: 2  $\mu$  (单轴中误差)

影像幅面: 260 mm  $\times$  260 mm

扫描速度: 1M 字节/秒,

4 分钟以 15  $\mu$  m 扫描一张 23 $\times$ 23cm 黑白像片

像素尺寸: 连续可调 4  $\mu$  m-- 20  $\mu$  m

计算机平台: SUN Ultra 30 Workstation

操作系统: Unix

##### 立体观测和采集装置:

SUN 工作站专用的图形加速卡

偏振光屏幕 Z-Screen 或液晶眼镜 CrystalEyes

3D 手动测绘台 及 手轮脚盘可选

##### b. 软件配置:

SOCET SET — 数字摄影测量核心软件, 包括:

自动空中三角测量

SPOT, LANDSAT, JERS 卫星摄影测量

近景摄影测量

DTM 提取及编辑,

正射影像纠正及镶嵌等

PRO 600 — 以 MicroStation 为图形环境的地物采集软件等

#### 2. ImageStation 数字摄影测量系统

##### a. 硬件配置:

扫描仪: PhotoScan

分辨率: 1  $\mu$

精确度： 2  $\mu$  (单轴中误差)  
影象幅面： 250 mm  $\times$  275 mm  
扫描速度： 10 分钟以 14  $\mu$  m 扫描一张 23  $\times$   
23cm 黑白像片  
像素尺寸： 7, 14, 21, 28, 56, 112, 224  $\mu$

计算机平台： Intergraph TDZ Workstation

操作系统： Windows NT

**立体观测和采集装置：**

Intergraph 专用的图形加速器 GLZ  
红外-液晶立体眼镜 Infrared-Liquid Crystal  
glasses  
28" 16: 9 宽屏显示器  
3D 鼠标 (无手轮和脚盘配置)

**b. 软件配置：**

ISDM 定向和量测软件  
Match-AT 自动空中三角测量软件  
Match-T 自动相关提取 DTM 软件  
ISFC 基于 MicroStation 图形环境的地物采集软件  
Base Rectifier 数字影象纠正及镶嵌软件  
Map Publisher 地图出版软件等

**3. Phodis 数字摄影测量系统**

**a. 硬件配置：**

扫描仪： PS-1 PhotoScan  
分辨率： 1  $\mu$  m  
精确度： 2  $\mu$  m (单轴中误差)  
影象幅面： 260 mm  $\times$  260 mm  
扫描速度： 10 分钟以 15  $\mu$  m 扫描一张 23  $\times$   
23cm 黑白像片  
像素尺寸： 7, 15, 30, 60, 120  $\mu$  m

计算机平台： SGI Workstation

操作系统： Unix

**立体观测和采集装置：**

红外-液晶立体眼镜 Infrared-Liquid Crystal  
glasses  
3D P-鼠标, 手轮和脚盘配置可选

**b. 软件配置：**

定向和量测软件  
空中三角测量软件  
TopoSURE 自动提取 DEM 软件  
PHOCUS 和 CADMAP 测图软件  
PHODIS OP 数字影象纠正及镶嵌软件

**4. VirtuoZo NT 数字摄影测量系统**

**a. 硬件配置：**

扫描仪： VEXCEL VX 4000  
分辨率： 1  $\mu$  m  
精确度： 2.5  $\mu$  m (单轴中误差)

影象幅面：280 mm × 440 mm

扫描速度：6 分钟以 15 μm 扫描一张 23×23cm  
黑白像片

像素尺寸：7.5 μm — 160 μm

也可选用 PhotoScan 或 DSW 300 扫描仪

计算机平台：Pentium II PC Computer

操作系统：Windows NT

#### 立体观测和采集装置：

通用的图形显示卡

液晶立体眼镜 或 偏振光屏幕立体眼镜

3D 鼠标 或 手轮和脚盘可选

#### b. 软件配置：

定向和量测软件

自动空中三角测量软件

DTM 及图形编辑软件

自动相关提取 DTM 软件

地物采集软件

道路与房屋半自动提取软件

数字影象自动纠正软件

等高线自动生成软件

影象自动镶嵌软件

三维建模、纹理处理及立体景观动态显示软件

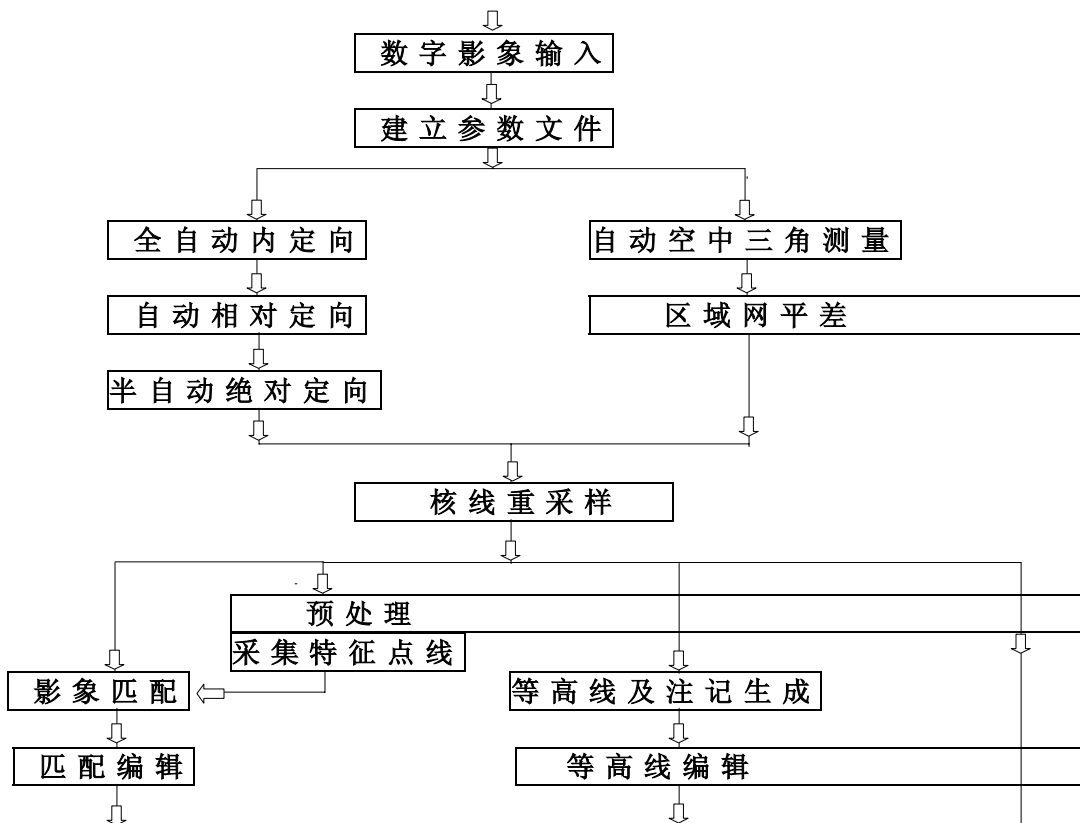
卫星及近景摄影测量软件等

## II . VirtuoZo NT 生产作业流程

VirtuoZo NT

### Production Workflow

#### 1. 作业流程图



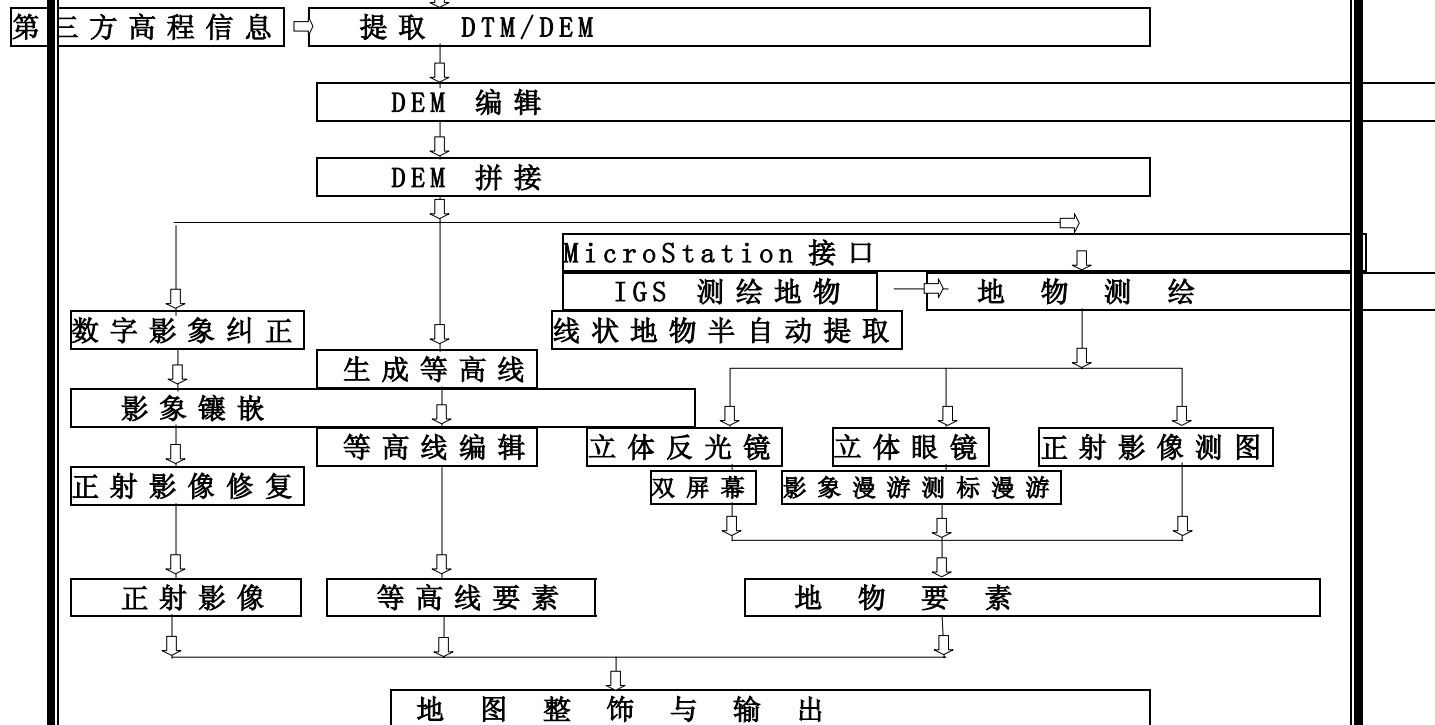


图 2。 VirtuoZo NT 作业流程图

## 2. 数字影像输入 Image input

航空影像通过高精度专用扫描仪将其数字化，得到以二维像元灰度矩阵表示的数字影像。可以接受的数据格式有：TIFF，SGI（RGB），BMP，TGA，SUNRaster，VIT，JFIF/BSF 格式。

## 3. 自动空中三角测量 Automatic aerial triangulation

自动空中三角测量，包括自动内定向，自动选点与转刺，自动相对定向，半自动控制点量测，区域网平差解算全区加密点地面坐标，以及自动建立测区内各立体像片对的相关参数。

### a. 自动内定向 Automatic internal orientation

在数字摄影测量中，自动内定向是指框标的自动识别和定位。从而实现恢复单张像片的内方位元素。VirtuoZo NT 的自动化程度很高，只需人工辅助精确识别任一个框标，自动作成模板，所有框标均自动识别。利用影像匹配技术和模式识别方法确定框标坐标，根据框标检定坐标，用最小二乘平差方法计算扫描坐标系与像片坐标系间的变换参数，自动完成单张像片的内定向。任一像元的影像扫描坐标，可利用内定向参数变换成像平面坐标系的坐标。

系统同时具有人工交互后处理功能。

### b. 自动选点与刺点 Automatic point identification and marking

系统具有自动选点与刺点功能，即在基本影像上选择内业加密点并自动编号，通过影像匹配自动标识在相邻的同名影像上，包括相邻航线的同名影像上。

#### c. 自动相对定向 Automatic relative orientation

首先在左（右）影象上分区提取特征点，然后利用二维影象匹配算法，自动在右（左）影象上寻找若干个同名点（通常超过100个点），作为相对定向的定向点，确定这些点的像平面坐标，再按解析摄影测量的相对定向算法，解求出立体像对的5个相对定向参数。根据相对定向参数就可确定立体影象对内左、右影象的相对方位，计算出各点的模型坐标。

系统提供人工交互后处理功能。为了适应传统的模拟机助测图系统和解析测图系统加密控制点的要求，可以将涤纶片上已刺点的点位，标识在相应的数字影象上，并给予同名的点号，再利用自动相关转刺到相应的同名影象上。

#### d. 半自动控制点量测 Semi-automatic measurement of control points

控制点的半自动量测方法是，对照外业刺点像片上控制点的位置，在左（右）数字影象上准确标识其点位，由影象匹配自动确定控制点在另一影象中的同名点。

#### e. 区域网平差 Block adjustment

区域网平差，是将量测的区域作为一个整体，利用最小二乘法进行平差处理，使得所有加密点和控制点均满足相应的空间交会条件，例如模型（像片）的连接差为最小，控制点的平差坐标与地面坐标之差为最小等。区域网平差的方法，主要有独立模型法和自检校光束法两种，世界上著名的相应软件包有 PAT-M 和 PAT-B。

自检校光束法区域网平差，如 PAT-B，在理论上是最严密的算法，也是加密精度最高的方法。它可以通过附加参数自动补偿系统误差，自动剔除粗差，进行机载 GPS 定位数据联合平差。

### 4. 数字影象的定向 Orientation of digital imagery

如果预先作了自动空中三角测量，则在 DEM 提取、正射影象纠正或地物采集前，均不需重做影象的内定向、相对定向、绝对定向，相应的定向参数可直接由自动空三生成的结果文件中取得，大大简化了定向作业过程，可明显提高生产效率。

- a. 内定向（从略，参见自动空三）
- b. 相对定向（从略，参见自动空三）
- c. 绝对定向（从略，参见自动空三）

### 5. 生成核线影象 Generation of epipolar image

生成核线影象，就是将原始数字影象重新按核线方向，逐条核线进行排列，形成按核线排列的立体影象。一般情况下，数字影象的扫描行与核线不重合，为了获取核线上点的灰度序列，必须根据原始影象灰度值进行内差，即所谓沿核线进行影象灰度重采样。

当模型完成了相对定向后，就可以进行核线影象排列。

根据摄影测量空间点线面的关系，核面是指通过摄影基线和一对同名光线的平面。核面与左、右影象平面所成的交线，称为左、右同名核线。为了保持同名光线相交，即满足同名光线共面条件，则同名像点只能沿相应的同名核线移动。利用这一几何约

束特性，可以将同名像点的二维影象匹配，简化为一维影象匹配。也就是说，当左核线上选定一点作为目标区，则同名像点的搜索区，就限定在同名的右核线上。

## **6. 预处理      Pre-processing**

在自动影象匹配之前，可以在立体模型中量测一部分特征线（山脊线、山谷线、陡坎、断裂线等），特征点（山顶、鞍部点、变坡点等），特征面（湖面、阴影区、林区边界等），作为自动影象匹配的控制。经过上述的预处理，可以明显改善影象匹配的效果。对于大比例尺测图，预处理是很重要的。

## **7. 影象匹配      Image matching**

影象匹配，是沿核线进行一维影象匹配，自动确定同名点。影象匹配采用金字塔影象数据结构，基于跨接法的整体影象匹配。

VirtuoZo NT 能以每秒 500 个点的速度，自动匹配出成千上万各同名点。

## **8. 匹配结果的编辑      Editing of matching result**

在影象自动匹配完成后，系统根据相关系数对匹配结果进行分类，并以绿、黄、红三种区域，表示影象匹配较好、一般、较差，当然这只能作为衡量匹配结果的参考。在立体模型中通过显示匹配后同名点的视差（左右视差）断面或等视差曲线，可以发现粗差，显示出系统认为不可靠的点。

交互式机助编辑方式，有点编辑、线编辑及面编辑。通常先选择编辑范围，然后选择编辑方法，例如平滑计算、表面拟合并计算，或给定高程值水平面拟合等。

## **9. 提取 DTM/DEM      DTM/DEM extraction**

在完成绝对定向和匹配编辑后，根据编辑后的影象匹配结果（视差数据），定向结果参数及给定用于建立 DEM 的参数等，利用移动曲面拟合法，自动内插生成不规则格网的 DTM（影象上规则视差格网投影于地面坐标系），以及规则格网的 DEM，即数字高程模型。

在生成单个数字高程模型后，再将单个模型的 DEM 拼接起来，建立图幅 DEM，也可采用多模型的批处理方式进行。

## **10. 数字正射影象纠正      Digital ortho-image rectificati**

当 DEM 建立后，可进行正射影象的生成。首先逐个模型进行影象的正射纠正。其处理方式，可接单模型，也可按批处理方式对多个模型进行处理（DEM、正射影象及等高线的生成可同时在批处理中完成）。测区的所有单模型处理完后，多影象的拼接工作，将在影象镶嵌中进行。

纠正后的正射影象，可以进行显示以及局部开窗放大检查。

## **11. 等高线生成      Contour generation**

在建立了 DEM 后，可自动进行等高线的生成。首先需输入测区的等高线参数，包括等高线数据文件名，记曲线间隔，等高线宽度，等高线注记字高等。生成等高线，可以逐个模型进行，也可以对多个模型进行批处理。等高线的拼接，将在影象镶嵌中进行。



当等高线生成后，可以显示当前模型的等高线全貌，也可以进行局部窗口放大检查。

## **12. 等高线与正射影象叠合      Contour merging with ortho-image**

等高线和正射影象分别生成以后，可将等高线叠合到正射影象上，获得带等高线的影象地形图。其处理方式，可采用单模型，也可按批处理方式进行。镶嵌的等高线与镶嵌的正射影象的叠合，将在影象镶嵌中进行。

## **13. DEM 拼接和正射影象镶嵌      DEM overlaying on ortho-image**

VirtuoZo NT 系统可对多个影象模型进行 DEM 拼接，对正射影象、等高线影象、等高线叠合正射影象进行镶嵌。其拼接或镶嵌的作业流程如下：

- ◆ 建立/选择多影象模型的相关文件
- ◆ 输入拼接或镶嵌的参数
- ◆ 选择拼接或镶嵌的范围
- ◆ 自动拼接或镶嵌

## **14. 地物测绘      Feature Collection**

地物测绘也称数字测图，通常是基于数字立体影象，按类似于解析测图仪的作业方式，人工交互式地分类测绘各种地物要素，辅以房屋、道路等线状地物的半自动提取，生成数字线划图或矢量图。

VirtuoZo NT 目前有基于 MicroStation 的测图模块，IGS 地物测绘模块，以及房屋和道路的半自动提取模块。

地物测绘软件，一般都按国家统一地物编码系统建立完整的采集界面（下拉式菜单），地物符号库和线型库，以及各种联机编辑功能。

测绘地物的立体观测方式，有如下几种模式：

### **a. 立体眼镜      Stereo glasses**

- a). 偏振光屏幕和配套的偏振光眼镜      Polarized screen and polarized glasses
- b). 红外液晶发射器和配套的立体眼镜      Infrared liquid crystal scatter and corresponding glasses

在地物采集中，可以采用两种漫游方式，即影象漫游和测标漫游。

### **b. 立体反光镜      Reflecting stereoscope**

立体反光镜，是架在显示屏幕前的简易观测装置。其作用是利用光学目镜使操作者的左右眼分别观测左右影象，以便形成立体效应。

### **c. 正射影象测图      Feature collection on ortho-images**

正射影象测图，是指在根据 DEM 纠正后的正射影象上，采用非立体方式，人工在左影象上选定地物，利用影象自动匹配功能，使右影象上的测标自动跟踪同名地物，实现地物采集。

### 15. 地图编辑 Map editing

地图编辑，是指对采集的原图中地物地貌表示不合理之处进行必要的处理，相邻图幅的接边处理，以及道路、河流、街道等名称的注记。

### 16. 地图整饰和输出

对于数字化测图，在经过图形编辑和审校后，可进行地图分幅和图廓整饰，直接利用高精度绘图机绘制线划地形图、正射影像图、影像地图，还可用磁介质提供数字地图产品。

### 主要参考文献

1. 王之卓：摄影测量原理，测绘出版社，19 年
2. 张祖询、张剑清：数字摄影测量学，武汉测绘科技大学出版社，1996 年 11 月