

武汉大学 2005~2006 学年上学期

《摄影测量基础》试卷 (A)

学号： 姓名： 院系： 遥感信息工程 专业： 遥感科学与技术 得分：

一、填空题 (20 分, 每空 1 分)

- 1、摄影测量中常用的坐标系有_____、_____、
_____、_____、_____。
- 2、解求单张像片的外方位元素最少需要_____个_____点。
- 3、GPS 辅助空中三角测量的作用是_____。
- 4、两个空间直角坐标系间的坐标变换最少需要_____个_____和_____个_____地面控制点。
- 5、摄影测量加密按平差范围可分为_____、_____和_____三种方法。
- 6、摄影测量的发展经历了_____、_____和_____三个阶段。
- 7、恢复立体像对左右像片的相互位置关系依据的是_____方程。
- 8、法方程消元的通式为 $\bar{N}_{i,i+1} =$ _____。

二、名词解释 (20 分, 每个 4 分)

- 1、内部可靠性：
- 2、绝对定向元素：
- 3、像主点：
- 4、带状法方程系数矩阵的带宽：
- 5、自检校光束法区域网平差：

三、简答题 (45 分, 每题 15 分)

- 1、推导摄影中心点、像点与其对应物点三点位于一条直线上的共线条件方程，并简要叙述其在摄影测量中的主要用途。
- 2、像片外方位元素的作用是什么？用图示意以 y 轴为主轴的航摄像片的外方位元素。
- 3、如果拥有一套 POS 系统，你打算如何用其快速确定地面点的三维坐标（简要叙述基本思想和具体解算过程）？

四、综合题（15 分）

设某区域由两条航线组成（如图 1 所示），试根据光束法区域网平差原理回答下列问题：

- ① 当控制点无误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；
- ② 按最小带宽原则在图 a 中标出像片排列顺序号并求出带宽；
- ③ 在图 b 中绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。

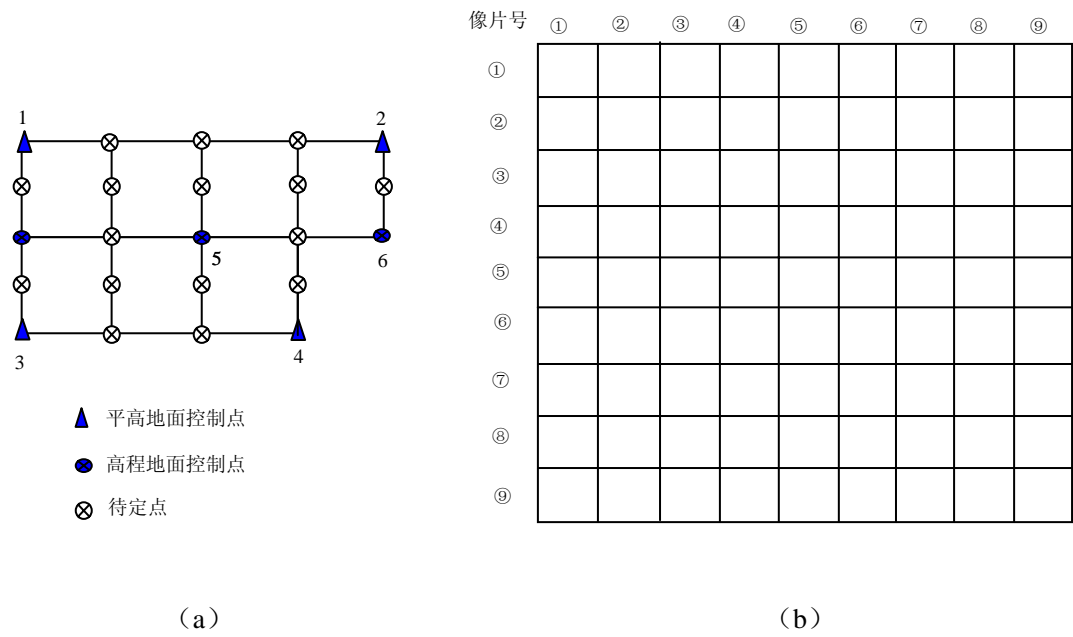


图 1

出卷人	袁修孝
教研室 负责人 审核签字	年 月 日
共 2 页 第 2 页	

武汉大学 2005~2006 学年上学期

《摄影测量基础》答卷 (A)

一、填空题 (20 分, 每空 1 分)

- 1、摄影测量中常用的坐标系有 像平面直角坐标系、像空间直角坐标系、像空间辅助坐标系、地面摄影测量坐标系、地面测量坐标系。
- 2、解求单张像片的外方位元素最少需要 3 个 平高地面控制 点。
- 3、GPS 辅助空中三角测量的作用是 大量减少甚至完全免除地面控制点, 缩短成图周期, 提高生产效率, 降低生产成本。
- 4、两个空间直角坐标系间的坐标变换最少需要 2 个 平高 和 1 个 高程 地面控制点。
- 5、摄影测量加密按平差范围可分为 单模型、单航带 和 区域网 三种方法。
- 6、摄影测量的发展经历了 模拟摄影测量、解析摄影测量 和 数字摄影测量 三个阶段。
- 7、恢复立体像对左右像片的相互位置关系依据的是 共面条件 方程。
- 8、法方程消元的通式为 $\bar{N}_{i,i+1} = \frac{N_{i,i+1} - N_{i,i}^T \bar{N}_{i,i}^{-1} N_{i,i}}{1 - N_{i,i}^T \bar{N}_{i,i}^{-1} N_{i,i}}$ 。

二、名词解释 (20 分, 每个 4 分)

- 1、内部可靠性: 一定假设下, 平差系统所能发现的模型误差的最小值。
- 2、绝对定向元素: 确定模型在地面空间坐标系中的绝对位置和姿态的参数。
- 3、像主点: 相机主光轴与像平面的交点。
- 4、带状法方程系数矩阵的带宽: 带状法方程系数矩阵的主对角线元素沿某行(列)到最远非零元素间所包含未知数的个数。
- 5、自检校光束法区域网平差: 选用若干附加参数构成系统误差模型, 在光束法区域网平差中同时解求这些附加参数, 从而在平差过程中自行检定和消除系统误差影响的区域网平差。

三、简答题 (45 分, 每题 15 分)

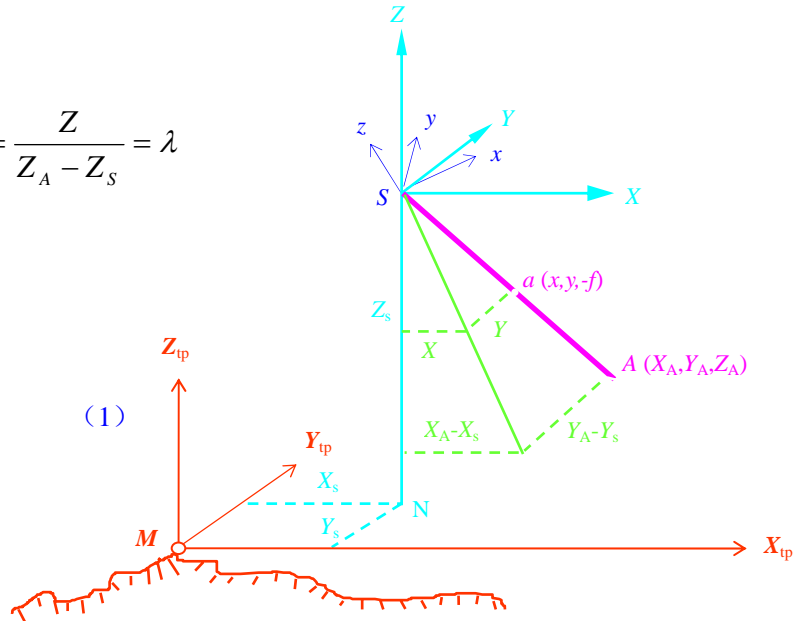
1、推导摄影中心点、像点与其对应物点三点位于一条直线上的共线条件方程，并简要叙述其在摄影测量中的主要用途。

【答】 设摄影中心 S 在某一规定的物方空间右手直角坐标系中的坐标为 (X_s, Y_s, Z_s) ，任一地面点 A 在该物方空间坐标系中的坐标为 (X_A, Y_A, Z_A) ， A 在像片上的构像 a 在像空间坐标和像空间辅助坐标分别为 $(x, y, -f)$ 和 (X, Y, Z) ，摄影时 S 、 a 、 A 三点共线(如下图)且满足如下关系：

$$\frac{X}{X_A - X_s} = \frac{Y}{Y_A - Y_s} = \frac{Z}{Z_A - Z_s} = \lambda$$

即

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} X_A - X_s \\ Y_A - Y_s \\ Z_A - Z_s \end{bmatrix} \quad (1)$$



又像空间坐标与像空间辅助坐标系满足：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中， $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}$ 为由像片外方位角元素组成的正交变换矩阵。

将 (2) 式写成纯量形式并用第一、二式分别除以第三式，可得

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X_A - X_s) + b_1(Y_A - Y_s) + c_1(Z_A - Z_s)}{a_3(X_A - X_s) + b_3(Y_A - Y_s) + c_3(Z_A - Z_s)} \\ y &= -f \frac{a_2(X_A - X_s) + b_2(Y_A - Y_s) + c_2(Z_A - Z_s)}{a_3(X_A - X_s) + b_3(Y_A - Y_s) + c_3(Z_A - Z_s)} \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 式就表示了摄影中心点、像点与其对应物点三点位于一条直线上的共线条件方程。

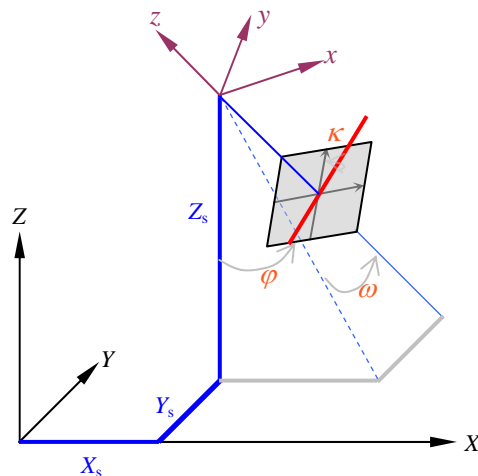
共线条件方程在摄影测量中的主要应用如下：

➤ 单片后方交会和立体模型的空间前方交会；

- 求像底点的坐标；
- 光束法平差中的基本方程；
- 解析测图仪中的数字投影器；
- 航空摄影模拟；
- 利用 DEM 进行单张像片测图。

2、像片外方位元素的作用是什么？用图示意以 y 轴为主轴的航摄像片的外方位元素。

【答】 像片外方位元素可用于恢复摄影瞬间像片在物方空间坐标系中的位置 (X_s, Y_s, Z_s) 和姿态 $(\varphi, \omega, \kappa)$ 的。以 y 轴为主轴的航摄像片的外方位元素可示于下图：



3、如果拥有一套 POS 系统，你打算如何用其快速确定地面点的三维坐标（简要叙述基本思想和具体解算过程）？

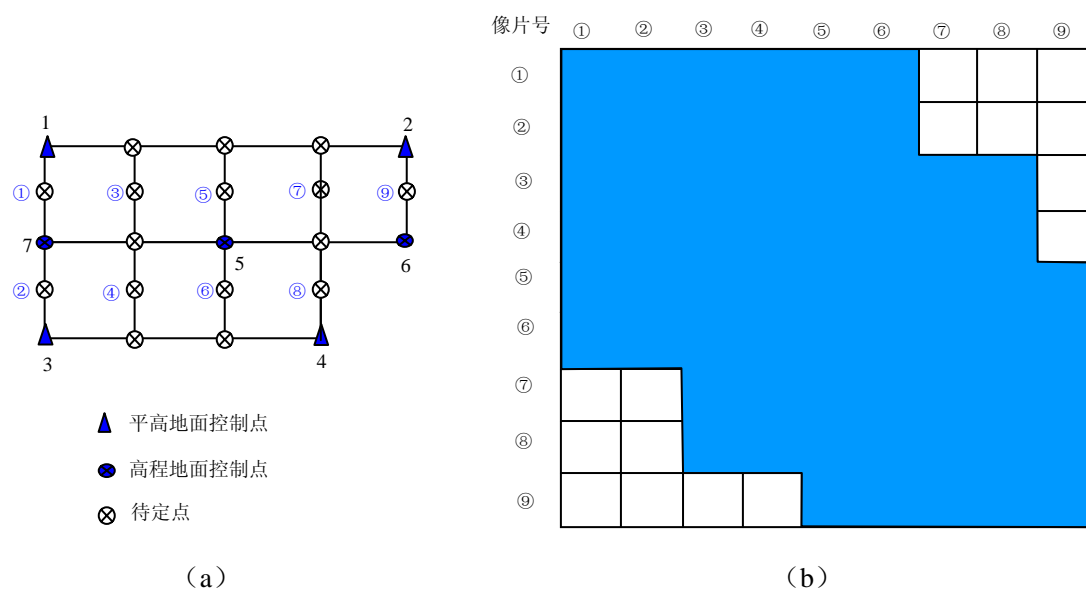
【答】 由 POS 系统获得像片的 6 个外方位元素。当没有地面控制点时，直接利用同名点前方交会，获得地面点坐标；当有控制点时，先利用共线方程对 POS 系统获得的像片外方位元素进行检校，消除系统误差，然后利用同名像点前方交会可获得地面坐标。具体解算过程如下：

- ✧ 同名像点识别，量测像点坐标 x_1, y_1, x_2, y_2 ；由 POS 系统获得的像片外方位线元素计算基线分量 B_X, B_Y, B_Z ；
- ✧ 由 POS 系统获得的像片外方位角元素计算像空间辅助坐标 $X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2$ ；计算点投影系数 N_1, N_2 ；计算地面坐标 X_A, Y_A, Z_A 。

四、综合题（15 分）

设某区域由两条航线组成（如图 1 所示），试根据光束法区域网平差原理回答下列问题：

- ① 当控制点无误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；
- ② 按最小带宽原则在图 a 中标出像片排列顺序号并求出带宽；
- ③ 在图 b 中绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。



武汉大学 2005—2006 学年下学期

《数字摄影测量》试卷 (A)

学号： 姓名： 院系： 专业： 得分

一. 名词解释 (每题 3 分, 共计 15 分)

1. 影像匹配, 2. 金字塔影像, 3. 立体正射影像对, 4. 同名核线, 5. 立体透视图

二. 简答题 (55 分)

1. 以图 1 所示数字高程模型矩形格网为例, 请说明图 1 中所画等高线的跟踪过程. 如果有特征线存在, 应该如何处理? (15 分)

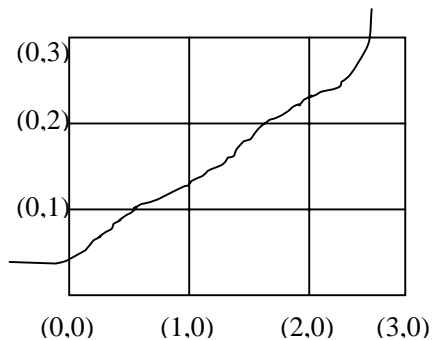


图 1 基于矩形格网的等高线跟踪

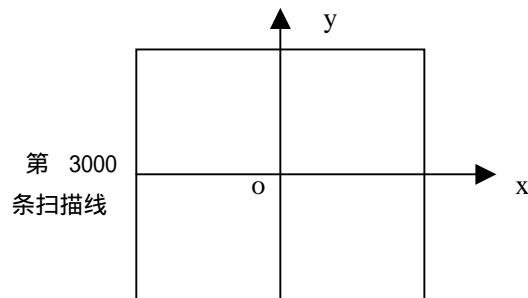


图 2 一幅 SPOT 影像

2. 图 2 是一幅 SPOT 影像, 当影像的外方位元素和 DEM 已知时, 如何制作正射影像, 请说明其原理过程, 并指出与框幅式的航空影像制作正射影像算法的相同和不同之处。 (15 分)
3. “相关系数最大”影像匹配、基于物方的 VLL 法影像匹配和最小二乘法影像匹配的相同点及差别是什么? (15 分)
4. 简述一次样条有限元数字高程模型内插方法的原理流程 (10 分)

三. 综合题 (30 分)

1. 什么是特征匹配? 它与基于灰度的影像匹配有什么不同? 结合课间编程实习内容, 请说明实现自动相对定向的方法原理和关键技术 (20 分)。
2. 除了所学过的影像匹配方法之外, 你还知道哪几种比较有效的匹配算法, 请叙述其中一种方法的基本原理及特点 (10 分)。

出卷人	潘励
教研室 负责人 审核签字	年 月 日
共 1 页	第 1 页

武汉大学遥感信息工程学院

2005---2006 学年度第 二 学期期末考试

《摄影测量学》试卷参考答案

一、名词解释：

1、影像匹配：

【答】通过一定的匹配算法在两幅或多幅影像之间识别同名点，如二维影像匹配中通过比较目标区和搜索区中相同大小的窗口的相关系数，取搜索区中相关系数最大所对应的窗口中心点作为同名点；

2、金字塔影像：

【答】对二维影像进行低通滤波，并逐渐增大采样间隔，形成的影像像素数依次减少的影像序列；

3、立体正射影像对：

【答】由正射影像和通过该正射影像生成的立体匹配片两者组成的立体相对；

4、同名核线：

【答】同一核面与左右影像相交形成的两条核线，其中核面指物方点与摄影基线所确定的平面；

5、立体透视图：

【答】运用透视原理和一定的数学模型（共线方程）将物方具有三维信息的点转换到指定的平面上，并通过消影处理获得立体透视效果。

二、简答题：

- 1、以图 1 所示数字高程模型矩形格网为例,请说明图 1 中所画等高线的跟踪过程.如果有特征线存在,应该如何处理?

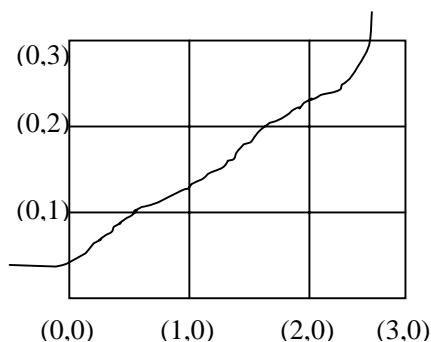


图 1 基于矩形格网的等高线跟踪

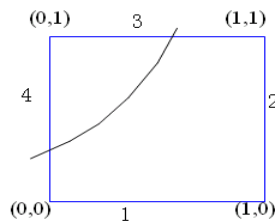
【答】1、等高线的跟踪过程：

(1) 确定等高线高程：根据格网中最低点 Z_{\min} 与最高点 Z_{\max} ，计算最低点高程 z_{\min} 与最高点高程 z_{\max} ， $z_{\min} = INT(\frac{Z_{\min}}{\Delta Z} + 1) \cdot \Delta Z$ ， $z_{\max} = INT(\frac{Z_{\max}}{\Delta Z}) \cdot \Delta Z$ ，

$$\text{取 } z_k = z_{\min} + k \cdot \Delta Z \quad (k=0, 1, \dots)$$

(2) 初始化状态矩阵，依据本题所画的矩形格网，设其中等高线所示高程为 z_k ，由 $v_{0,0} = 1$ ， $v_{3,0} = 0$ ， $h_{0,3} = 1$ ， $h_{0,0} = 1$ 可知该等高线为开曲线；

(3) 由 $v_{0,0} = 1$ 得该等高线的起始点，其坐标通过线性内插可得 $\begin{cases} X = X_0 \\ Y = Y_0 + \frac{z - Z_0}{Z_1 - Z_0} \cdot (Y_1 - Y_0) \end{cases}$ ，按逆顺针对格网边进行编号，可知 $IN=1$ ，然后搜索跟踪等高线出的方向；



(4) 判断 $(Z_{i,j} - z_k)(Z_{i+1,j} - z_k)$ 与 0 的大小以及 $(Z_{i,j} - z_k)(Z_{i,j+1} - z_k)$ 与 0 的大小，由图可知： $(Z_{0,1} - z_k)(Z_{1,1} - z_k) < 0$ ，而其它的均大于 0，所以 $OUT=3$ ，并将状态矩阵中相应的元素置为 0，同时对于下一个格网 $IN=1$ ；

(5) 重复第 5 步，依次向下搜索跟踪，并每次将上一格网的出边作为这次格网的进入边，直至跟踪到边界（状态矩阵的所有元素变为 0）；

2、地形特征线的处理：

地形特征线是表示地貌形态、特征的重要结构线，在等高线绘制过程中必须考虑地形特征线以正确表示地貌形态，在跟踪等高线时应注意：

- (1)、若在某一条格网边上由地形特征线穿过，必须特征线与格网线的交点与相应的格网点内插等高线点，而不能直接用格网点内插等高线；
- (2) 当等高线穿过山脊线（山谷线）时，还必须在山脊线（山谷线）上补插等高线点；
- (3) 当等高线遇到断裂线或边界时，等高线必须断在断裂线或边界线上；

1、图 2 是一幅 SPOT 影像，当影像的外方位元素和 DEM 已知时，如何制作正射影像，请说明其原理过程，并指出与框幅式的航空影像制作正射影像算法的相同和不同之处。

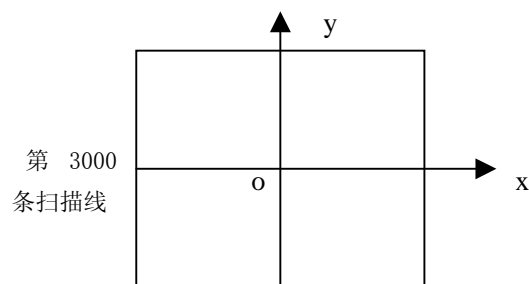


图2 一幅 SPOT 影像

【答】 对于 SPOT 影像，当外方位元素和 DEM 已知知识，可采用直接法和间接法结合的方法制作正射影像：

1、 正解法解求影像规则格网点对应的地面坐标：在影像上确定一个规则格网，由内定向可确定像元 (i, j) 所对应的影像坐标 (x, y) ，通过正解法数字纠正结合 DEM 利用下述公式可求得相应的地面点 (X, Y, Z) ，地面点组成的为一非规则格网；

$$\begin{aligned} X &= X_s(t) + \frac{a_1(t)x - a_3(t)f}{c_1(t)x - c_3(t)f} (Z - Z_s(t)) & \varphi_i &= \varphi_0 + (l_i - l_0)\Delta\varphi \\ Y &= Y_s(t) + \frac{b_1(t)x - b_3(t)f}{c_1(t)x - c_3(t)f} (Z - Z_s(t)) & \omega_i &= \omega_0 + (l_i - l_0)\Delta\omega \\ & & \kappa_i &= \kappa_0 + (l_i - l_0)\Delta\kappa \\ & & X_{Si} &= X_{S0} + (l_i - l_0)\Delta X_S \\ & & Y_{Si} &= Y_{S0} + (l_i - l_0)\Delta Y_S \\ & & Z_{Si} &= Z_{S0} + (l_i - l_0)\Delta Z_S \end{aligned}$$

2、 内插求解地面规则格网对应的像点坐标：由非规则的地面格网点拟合出平面，采用四个点可拟合出平面，

$x' = a_0 + a_1X' + a_2Y'$ 由此可由地面规则格网点坐标 (X_p, Y_p) 计算出其对应的像点坐标 (x_p, y_p) ；

3、 反解法计算各地面元对应像素坐标的：重复第三步可得到地面所有规则格网点的影像坐标，然后通过双线性内插即可得到每一个地面元所对应的影像坐标，再经过灰度重采样和赋值即可获得正射影像。

由于 SPOT 影像是线阵扫描式影像，每一条影像的外方位元素都不同，在采用正解法或反解法制作正射影像时都存在迭代求解的过程，框幅式航空影像是点投影式影像，整幅影像的外方位元素唯一，制作正射影像采用反解法时无需迭代；另一方面 SPOT 影像可采用多项式纠正的方法来制作正射影像，而多项式纠正法则不适合于框幅式航空影像制作正射影像；

两者在制作正射影像时都存在通过原始影像内插、重采样来获得每一个地面元所对应的影像坐标及其灰度值，以构成正射影像的过程；

3. “相关系数最大”影像匹配、基于物方的 VLL 法影像匹配和最小二乘法

影像匹配的相同点及差别是什么？

【答】“相关系数最大”影像匹配是指在左影像上以目标点为中心选取一定大小的区域作为目标区，将右片同名点可能存在的区域作为搜索区，比较目标窗口和搜索区内同大小窗口的灰度相关系数，将相关系数最大所对应的窗口的中心作为同名点。

基于物方的 VLL 法影像匹配是在待定点的地面平面坐标已知的情况下，通过共线方程和合理的高程设定值，解算其相应的像点坐标，通过比较不同高程所对应的像点的相关测度，取最大测度处的像点作为同名点，相应的高程作为物点的高程；

最小二乘法影像匹配是指顾及影像的几何和辐射畸变并引入相应的变形参数，同时按最小二乘的原则解求这些参数，将相关系数最大处的左片目标窗口采用坐标梯度加权平均作为目标点，右片同名点的位置由求得的几何参数计算而得；

由上可知三种匹配算法的相同点：都是基于灰度的影像匹配，都用到了相关系数最大作为匹配的测度；

不同点：“相关系数最大”影像匹配是基于像方的，通过选定目标区窗口与搜索区中相应大小的窗口中相关系数最大的窗口中心点作为同名点，匹配精度与窗口大小、影像信噪比有关；

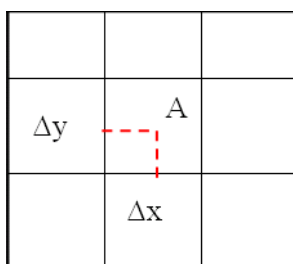
“基于物方的 VLL 法”影像匹配是基于物方的，而且能直接确定物方点的空间三维坐标，将不同高程处所对应左右影像中的像点作为可能的匹配点，取相关系数最大处作为同名像点，同时也获得了物点的高程信息，匹配精度与步距 dz 、影像信噪比、匹配窗口大小有关；

“最小二乘法”影像匹配是基于像方的，考虑了几何畸变、辐射畸变等系统误差，可灵活引入了各种参数和约束条件，匹配精度较高，可达子像素级，匹配点的位置左片通过窗口梯度加权平均而求得，右片由求得的几何参数计算而得，匹配精度与信噪比、影像的纹理结构有关。

4. 简述一次样条有限元数字高程模型内插方法的原理流程

【答】一次样条有限元数字高程模型内插方法的原理为：

$$\phi(x, y) = (1 - \Delta x)(1 - \Delta y)C_{i,j} + \Delta x(1 - \Delta y)C_{i+1,j} + (1 - \Delta x)\Delta y C_{i,j+1} + \Delta x \Delta y C_{i+1,j+1}$$



如上所示 A (X, Y) 距格网点 (i, j) 的距离分别为 Δx 、 Δy ，(Δx , Δy 是以格网边长为单位时点 A 相对于点 P_{ij} 的坐标增量) 则根据线性内插原理可知：

$$v_A = (1 - \Delta X)(1 - \Delta Y)Z_{i,j} + \Delta X(1 - \Delta Y)Z_{i+1,j} + (1 - \Delta X)\Delta Y Z_{i,j+1} + \Delta X \Delta Y Z_{i+1,j+1} - Z_A$$

在有 n 个已知高程点时，可列出 n 个方程，用平差的方法即可求得格网点的高程，为了保证地面的圆滑和连续可引入 x 和 y 方向的二次差分为 0 作为虚拟观测值：

$$v_x(i, j) = Z_{i-1, j} - 2Z_{i, j} + Z_{i+1, j} - 0$$

$$v_y(i, j) = Z_{i, j-1} - 2Z_{i, j} + Z_{i, j+1} - 0$$

结合观测值和虚拟观测值，采用最小二乘法解算即可内插得到格网点处的高程值 $z(i, j)$ 。

三、综合题

1、什么是特征匹配？它与基于灰度的影像匹配有什么不同？结合课间编程实习内容，请说明实现自动相对定向的方法原理和关键技术

【答】特征匹配是指通过分别提取左右片影像或多张影像的特征（点、线、面等特征），对特征进行参数描述，然后运用所描述的参数来进行匹配的一种匹配算法；

特征匹配与灰度匹配的区别：灰度匹配是基于像素的，特征匹配则是基于区域的，特征匹配在考虑像素灰度的同时还考虑诸如空间整体特征、空间关系等因素；

自动相对定向的方法原理：用特征提取算子提取左影像上的特征点，根据一定的匹配算法找出左片上的特征点在右片上的同名点，采用粗差剔除法去掉误差超限的同名点，留下 5 组以上的同名点对，根据相对定向原理有左右影像上的同名像点解算 5 个相对定向元素；

关键技术：

(1). 特征点的自动提取：可通过 Moravec 算子或 Forstner 算子进行特征点的自动提取；

(2). 特征点的自动匹配：依据影像的实际情况采用适当的匹配算法如采用最小二乘法影像匹配、跨接法影像匹配等，对于右片既可以通过特征提取挑选预测区内的特征点作为可能的匹配点，也可以不进行特征提取将预测区内的每一点作为可能的匹配点，或“爬山法”搜索动态地确定各选点；

(3). 粗差剔除：由于所选同名点较多，为保证相对定向元素的求解结果精度较高，在匹配后必须针对匹配结果剔除误差过大的同名点，但必须保留至少 5 对同名点；

(4). 相对定向解算：定向元素与采用连续法还是独立法相对定向有关；

2、除了所学过的影像匹配方法之外,你还知道哪几种比较有效的匹配算法,请叙述其中一种方法的基本原理及特点

【答】其他类匹配算法：遗传算法、动态规划算法、附加空间相互关系约束的区域匹配算法，以及综合多种算法优点的匹配算法。

附加空间相互关系约束的区域匹配算法的基本原理：在对图像进行区域分割、特征提取的基础上，附加与周围地物的空间相互关系作为约束条件进行区域匹配，以提高匹配的精度和可靠性；

特点：

一、精度比单纯依赖区域特征进行匹配有所提高；

二、在影像存在平移、缩放、旋转的情况下，附加空间相互关系能显著提高匹配的可靠性；

三、对空间相互关系的描述和附加参数的设置比较复杂，还需进一步完善。

武汉大学 2006~2007 学年上学期

《摄影测量基础》试卷 (A)

学号： 姓名： 院系： 遥感信息工程 专业： 遥感科学与技术 得分：

一、填空题 (20 分, 每空 1 分)

- 1、表示航摄像片的外方位角元素可以采用_____、
_____和_____三种转角系统。
- 2、航摄像片是所覆盖地物的_____投影。
- 3、摄影测量加密按数学模型可分为_____、_____和_____三种方法。
- 4、从航摄像片上量测的像点坐标可能带有_____、_____、
_____和_____四种系统误差。
- 5、要将地物点在摄影测量坐标系中的模型坐标转换到地面摄影测量坐标系, 最少需要
_____个_____和_____个_____地面控制点。
- 6、带状法方程系数矩阵的带宽是指_____。
- 7、人眼观察两幅影像能产生立体视觉的基本条件是_____

_____和
_____。

二、名词解释 (20 分, 每个 4 分)

- 1、内部可靠性:
- 2、解析相对定向:
- 3、GPS 辅助空中三角测量:
- 4、主合点:
- 5、单片空间后方交会:

三、简答题 (45 分, 每题 15 分)

- 1、今在航高 H 处利用主距为 f 的航摄仪拍得一张理想的航摄像片, 试导出像片上的像点坐标与

其对应物点坐标间的关系式，并说明式中各符号的物理意义。

2、用图示意以 z 轴为主轴的航摄像片的外方位元素，并指出其在摄影测量中的作用。

3、在城市建设规划中，发现某居民区新增了大量的建筑物，为了及时更新该地区的地籍图，利用配有 POS 系统的数字航摄仪获取了一个立体像对，请问如何用最快速的方法将新建房屋加入地籍管理数据库中？在 POS 系统提供的像片外方位元素无误差的情况下，简要叙述其基本思想并绘出作业流程图。

四、综合题（15 分）

设某区域由三条航线组成（如图 1 所示），试根据光束法区域网平差原理回答下列问题：

- ① 当控制点无误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；
- ② 按最小带宽原则在图(a)中标出像片排列顺序号并求出带宽；
- ③ 在图(b)中绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。

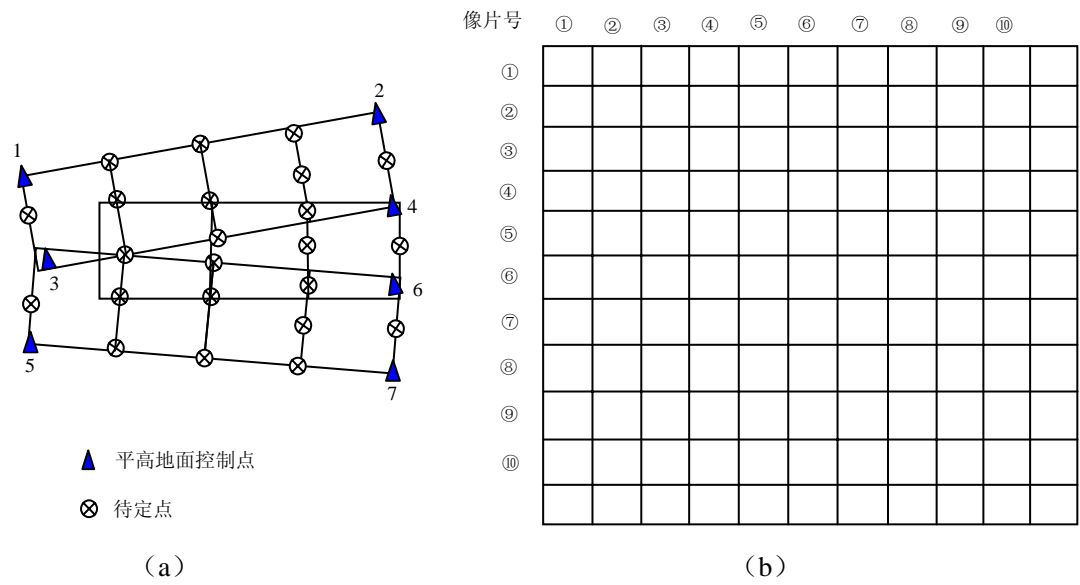


图 1

出卷人	袁修孝
教研室 负责人 审核签字	
共 2 页 第 2 页	

武汉大学 2006~2007 学年上学期

《摄影测量基础》答卷 (A)

一、填空题 (20 分, 每空 1 分)

- 1、表示航摄像片的外方位角元素可以采用 以Y轴为主轴的 $\varphi-\omega-\kappa$ 、以X轴为主轴的 $\omega'-\varphi'-\kappa'$ 和 以Z轴为主轴的 $A-a-k$ 三种转角系统。
- 2、航摄像片是所覆盖地物的 中心 投影。
- 3、摄影测量加密按数学模型可分为 航带法、独立模型法 和 光束法 三种方法。
- 4、从航摄像片上量测的像点坐标可能带有 摄影材料变形、摄影机物镜畸变、大气折光误差 和 地球曲率误差 四种系统误差。
- 5、要将地物点在摄影测量坐标系中的模型坐标转换到地面摄影测量坐标系, 最少需要 2 个 平高 和 1 个 高程 地面控制点。
- 6、带状法方程系数矩阵的带宽是指 法方程系数矩阵中主对角线元素起沿某一行到最远处的非零元素间所包含的未知数个数。
- 7、人眼观察两幅影像能产生立体视觉的基本条件是 在不同摄站获取的具有一定重叠的两幅影像、观察时每只眼睛只能看一张像片、两幅影像的摄影比例尺尽量一致 和 两幅影像上相同地物的连线与眼基线尽量平行。

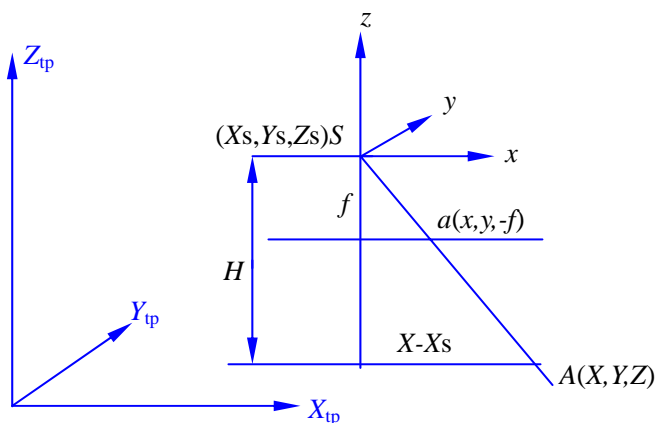
二、名词解释 (20 分, 每个 4 分)

- 1、内部可靠性: 一定的假设条件下, 平差系统所能发现的模型误差的最小值。
- 2、解析相对定向: 根据摄影时同名光线位于一个核面的条件, 利用共面条件方程解算立体像对中两张像片的相互关系参数, 使同名光线对对相交。
- 3、GPS 辅助空中三角测量: 利用载波相位差分 GPS 动态定位技术获取摄影时刻摄影中心的三维坐标, 将其作为带权观测值引入摄影测量区域网平差中, 整体确定物方点坐标和像片外方位元素并对其质量进行评定的理论和方法。
- 4、主合点: 地面上一组平行于摄影方向线的光束在像片上的构像。
- 5、单片空间后方交会: 在单张像片上, 利用一定数量的地面控制点及其对应的像点坐标, 根据共线条件方程求解像片的 6 个外方位元素。

三、简答题（45 分，每题 15 分）

1、今在航高 H 处利用主距为 f 的航摄影仪拍得一张理想的航摄像片，试导出像片上的像点坐标与其对应物点坐标间的关系式，并说明式中各符号的物理意义。

【答】 下图示意了理想像片上像点与其对应物点坐标间的关系（以 x 坐标为例）。



由图中相似三角形可得到：

$$\frac{f}{H} = \frac{x}{X - X_s} \quad (1)$$

同理可得到：

$$\frac{f}{H} = \frac{y}{Y - Y_s} \quad (2)$$

将式（1）、（2）整理可得：

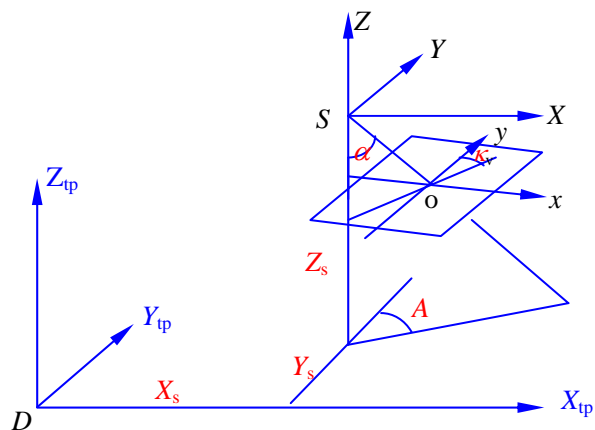
$$x = f \frac{X - X_s}{H} \quad (3)$$

$$y = f \frac{Y - Y_s}{H}$$

式中， (X_s, Y_s) 为投影中心在地面摄影测量坐标系中的平面坐标； (X, Y) 为地面点 A 在地面摄影测量坐标系中的坐标； (x, y) 为地面点 A 所对应的像点 a 在以像主点为原点的像平面坐标系中的坐标； f 为摄影机主距； H 为摄影航高。

2、用图示意以 z 轴为主轴的航摄像片的外方位元素，并指出其在摄影测量中的作用。

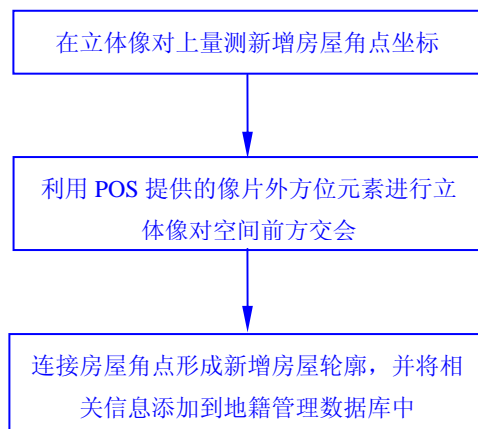
【答】 以 z 轴为主轴的像片外方位元素如下图所示。



在摄影测量中，该转角系统可用于：① 恢复摄影光束在摄影时刻的空间姿态；② 单张像片的纠正。

3、在城市建设规划中，发现某居民区新增了大量的建筑物，为了及时更新该地区的地籍图，利用配有 POS 系统的数字航摄影获取了一个立体像对，请问如何用最快速的方法将新建房屋加入地籍管理数据库中？在 POS 系统提供的像片外方位元素无误差的情况下，简要叙述其基本思想并绘出作业流程图。

【答】 基本思想：首先在立体像对上量测新增房屋的角点坐标，然后利用 POS 系统获取的像片外方位元素进行立体像对的空间前方交会，求出量测像点所对应的地面点坐标，最后把求解的房屋角点坐标连接形成新增房屋轮廓，并将相关信息添加到地籍管理数据库中。其流程如下图所示：



四、综合题（15 分）

设某区域由三条航线组成（如图 1 所示），试根据光束法区域网平差原理回答下列问题：

- ① 当控制点无误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；
- ② 按最小带宽原则在图(a)中标出像片排列顺序号并求出带宽；
- ③ 在图(b)中绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。

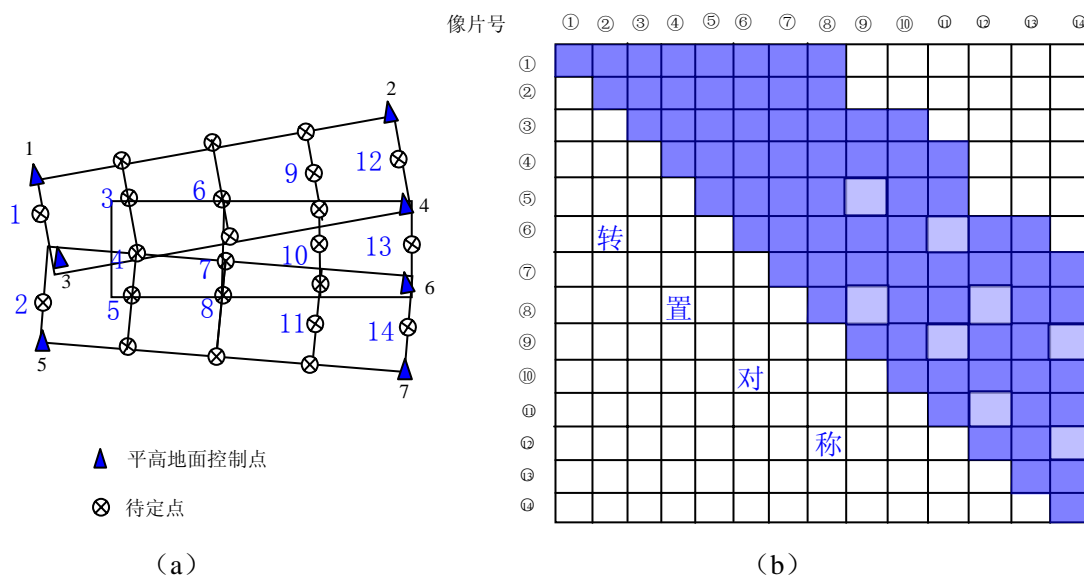


图 1

【答】

- ① 观测值个数： $n = (5 \times 6 + 6 \times 9 + 1 \times 7 + 2 \times 10) \times 2 = 222$ 个
未知数个数： $t = 14 \times 6 + 23 \times 3 = 153$ 个
多余观测数： $r = n - t = 222 - 153 = 69$ 个
- ② 按最小带宽原则，像片应垂直于航线编号，如图 1 (a) 所示。
此时带宽 $= 8 \times 6 = 48$
- ③ 详见图 1 (b) 中阴影部分。

武汉大学 2005—2006 学年下学期

《数字摄影测量》试卷(A)

学号： 姓名： 院系： 专业： 得分

一、单项选择题：(从下列各题备选答案中选出一个正确答案，将其代号填写在相应的横线上。每小题 1 分，共 10 分)

- 1、数字摄影测量系统是由_____代替人的立体量测与识别，完成影像几何与物理信息的自动提取。
A. 计算机视觉 B 机械导杆 C 光学投影 D 光学与机械导杆
- 2、当欲知不在采样点上的影像的灰度值时就需进行内插，此时称为_____。
A 重采样 B 采样 C 离散化 D 量化
- 3、_____是利用计算机对数字影像进行数值计算的方式完成影像的相关。
A 电子相关 B 光学相关
C 数字相关 D 核线相关
- 4、影像匹配实质上是在两幅(或多幅)影像之间识别_____。
A 候选点 B 特征点
C 差异点 D 同名点
- 5、仅考虑辐射的线性畸变的最小二乘匹配是_____。
A 相关函数 B 协方差函数
C 相关系数 D 最小距离
- 6、先按预定的比较稀疏的间隔进行采样，获得一个较稀疏的格网，然后分析是否需要
对格网加密，称为_____。
A 渐进采样 B 规则格网采样
C 选择采样 D 混合采样
- 7、_____是根据光标在屏幕上的位置，检索出光标所指物体(或点、线)的序号。
A 坐标表 B 屏幕检索表
C 属性码表 D 坐标转换表
- 8、图板定向的目的是建立空间坐标系(大地坐标系)与_____之间的变换关系。
A 像空间辅助坐标 B 模型坐标
C 像平面坐标 D 绘图坐标系
- 9、所有图形必须绘在某一窗口之内，而不应超出窗口之外，称为_____。
A 窗口内裁剪 B 矢量裁剪
C 相片裁剪 D 窗口外裁剪
- 10、相关系数是_____线性变换的不变量。
A 坐标 B 焦距 C 几何 D 灰度

二、多项选择题：(从下列各题备选答案中选出一个以上正确答案，将其代号填写在相应的横线上。每个空 0.5 分，共 10 分)

- 1、 数字摄影测量的基本范畴还是确定被摄对象的_____与_____，即量测与理解。
A 几何 B 高程 C 物理属性 D 辐射特性
- 2、 特征匹配可分为三步： _____； _____； 利用参数进行特征匹配。
A 特征提取 B 特征描述
C 给定种子点 D 影像预处理
- 3、 _____和_____共同称为立体正射影像对。
A 原始影像 B 水平影像
C 正射影像 D 相应的立体匹配片
- 4、 跨接法影像匹配与最小二乘法影像匹配处理方式不同，它先作_____，后作_____。
A 几何改正 B 辐射改正
C 影像配准 D 影像匹配
- 5、 通过相关函数的谱分析可知，当信号中高频成分较少时，相关函数_____，但相关的_____；
A 曲线较平缓 B 拉入范围较大
C 曲线陡峭 D 拉入范围较小
- 6、 从粗到精的相关策略。即先通过_____，进行初相关，找到同名点的粗略位置，然后利用高频信息进行_____。
A 低通滤波 B 精确相关
C 高通滤波 D 粗相关
- 7、 根据有关的参数与_____，利用相应的_____，或按一定的数学模型用控制点解算，从原始非正射投影的数字影像获取正射影像，叫做数字微分纠正。
A 立体模型 B 外方位元素
C 构像方程式 D 数字地面模型
- 8、 Forstner 算子计算各像素的_____和像素为中心的一个窗口的_____，在影像中寻找具有尽可能小而接近圆的误差椭圆的点作为特征点
A 灰度方差阵 B Robert ' s 梯度
C 二阶差分 D 协方差矩阵
- 9、 数字高程模型中逐点内插法是以每一_____为中心，定义一个_____去拟合周围的数据点。
A 整体函数 B 局部函数
C 参考点 D 待定点
- 10、 DEM 的精度主要取决于_____和_____，对不同的内插方法，只要应用合理，所得 DEM 的精度相差并不大。
A 目标的高程 B 地形的复杂程度
C 采样间隔 D 影像的质量

三．简答题(50 分)

1. 简述利用斜平行投影法制作立体正射影像对的原理。(10 分)
2. 简述一种框幅式航空影像制作其核线影像的方法。(10 分)
3. 请说明利用相关系数的影像匹配和最小二乘法影像匹配的异同点？(10 分)

4. 请叙述一种构建不规则的三角网的方法。(10分)
5. 简述利用单张航空影像进行修测的原理。(10分)

四.综合题(30分)

1. 结合课间编程实习内容,请叙述基于特征点的影像匹配方法原理,并画出相应的程序框图。(15分)
2. 真实景观图与模拟景观图的区别是什么?请说明制作真实景观图的原理以及在VirtuoZo作业流程。(15分)

出卷人	潘励
教研室 负责人 审核签字	年 月 日
共 3 页	第 3 页

武汉大学 2005—2006 学年下学期

《数字摄影测量》试卷 (A) 答案

一、单项选择题 : (从下列各题备选答案中选出一个正确答案 , 将其代号填写在相应的横线上。每小题 1 分 , 共 10 分)

1、 A ; 2、 A ; 3、 C ; 4、 D ; 5、 C ; 6、 A ; 7、 B ; 8、 D ; 9、 D ; 10、 D。

二、多项选择题 : (从下列各题备选答案中选出一个以上正确答案 , 将其代号填写在相应的横线上。每个空 0.5 分 , 共 10 分)

1、 A , C ; 2、 A , B ; 3、 C , D ; 4、 A , D ; 5、 C , B ; 6、 A , B ; 7、 D , C ; 8、 B , D ; 9、 D , B ; 10、 C , B。

三. 简答题(50 分)

1. 简述利用斜平行投影法制作立体正射影像对的原理。(10 分)

答 : 如果要获得立体效应 , 就需要引入一个具有人工视差的匹配片。该人工视差的大小应能反映实地的地形起伏情况。最简单的方法是利用投射角为 的平行光线法。

利用斜平行投影法从同一数字高程模型出发制作立体匹配片 , 必须包括以下几个步骤。

第一步 : 按 XY 平面上一定间隔的方形格网 , 将它正射投影到数字高程模型上 , 获得 X_i 、 Y_i 、 Z_i 坐标 , 再由共线方程求出对应像点在左片上的坐标 x_i 、 y_i , 用此影像断面数据可制作正射影像。

第二步 : 由 XY 平面上同样的方格网 , 沿斜平行投影方向将格网点平行投影到数字高程模型表面 , 该投影方向平行于 XZ 面。则该投影线与 DEM 表面交点坐标 $\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{Z}_i$ 可由下式求出 :

$$\bar{Y}_i = Y_i$$

$$\bar{X}_i = [(X_{i+1} - X_i)(X_i + kZ_i) - X_i k(Z_{i+1} - Z_i)] / [X_{i+1} - k(Z_{i+1} - Z_i) - X_i]$$

$$\bar{Z}_i = Z_i + (Z_{i+1} - Z_i)(\bar{X}_i - X_i) / (X_{i+1} - X_i)$$

式中 $k = \tan \theta$

第三步 : 将斜平行投影后的地表点坐标 $\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{Z}_i$ 按中心投影方程式变换到右方影像上去 , 得到一套影像断面数据 \bar{x}_i, \bar{y}_i , 由此数据可制成立体匹配片。

2. 简述一种框幅式航空影像制作其核线影像的方法。(10 分)

答 : 利用基于影像几何纠正的核线解折关系方法寻找核线 , 首先将影像上的核线

投影到一对平行于摄影基线的影像对上后，则核线相互平行。

设倾斜影像上的坐标系为 x, y ；“水平”影像上的坐标系为 u, v 则：

$$\left. \begin{aligned} x &= -f \cdot \frac{a_1 u + b_1 v - c_1 f}{a_3 u + b_3 v - c_3 f} \\ y &= -f \cdot \frac{a_2 u + b_2 v - c_2 f}{a_3 u + b_3 v - c_3 f} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

显然在“水平”影像上， $v = \text{某常数}$ 即表示某一核线。将 $v = c$ 代入 (1) 式，经整理得

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{d_1 u + d_2}{d_3 u + 1} \\ y &= \frac{e_1 u + e_2}{e_3 u + 1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

若以等间隔取一系列的 u 值 $k\Delta, (k+1)\Delta, (k+2)\Delta, \dots$ ，即解求得一系列的像点坐标 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots$ 。这些像点就位于倾斜影像的核线上，若将这些像点经重采样后的灰度 $g(x_0, y_0), g(x_1, y_1), \dots$ 直接赋给“水平”影像上相应的像点，即

$$\begin{aligned} g_0(k\Delta, c) &= g(x_0, y_0) \\ g_0((k+1)\Delta, c) &= g(x_1, y_1) \end{aligned}$$

就能获得“水平”影像上之核线。

由于在“水平”影像对上，同名核线的 v 坐标值相等，因此将同样的 $v' = c$ 代入右影像共线方程：

$$\left. \begin{aligned} x' &= -f \cdot \frac{a_1' u' + b_1' v' - c_1' f}{a_3' u' + b_3' v' - c_3' f} \\ y' &= -f \cdot \frac{a_2' u' + b_2' v' - c_2' f}{a_3' u' + b_3' v' - c_3' f} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

即能获得右影像上的同名核线。

由以上分析可知，此方法的实质是一个数字纠正，将倾斜影像上的核线投影（纠正）到“水平”影像对上，求得“水平”影像对上的同名核线。

3. 请说明利用相关系数的影像匹配和最小二乘法影像匹配的异同点？(10 分)

答：最小二乘影像匹配的基本思想是，在影像匹配中引入几何和辐射变形参数，同时按最小二乘的原则 $\sum v v = \min$ ，在影像匹配的同时解求这些参数。

单纯地利用相关系数测度进行影像匹配算法是，计算目标区域与搜索区域中相同大小影像的相关系数，选择最大相关系数对应窗口中的中心像元为同名点。

两种算法相同点：相关系数是仅考虑辐射的线性畸变的最小二乘匹配。因为相关系数不受左右影像灰度线性畸变的影像，在最小二乘匹配影像匹配中，影像经过几何和辐射变形改正之后，评判它们的相似程度仍用相关系数。因此，可以

两种算法本质是相同的。

不同之处：

(1) 最小二乘影像匹配中把像素的灰度值视为观测值，并充分考虑了影像的系统误差改正，改善了影像匹配的精度。

(2) 最小二乘影像匹配采用最小二乘法计算原则，有利于考虑观测值（像素）与观测值或其他地面目标之间的关系，灵活应用这些控制条件，使其的精度和可靠性有所提高，并使它的解的形式不仅仅局限与传统的左右位移。

(3) 最小二乘影像匹配可以进行多张影像的匹配。并能够与其他匹配算法相结合。

(4) 在最小二乘影像匹配中，由于观测误差方程式是非线性函数，需要进行线性化，因此需要较为准确的初值。

4. 请叙述一种构建不规则的三角网的方法。（10分）

答：三角网 DTM 的建立应基于最佳三角形的条件，即应尽可能保证每个三角形是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。利用角度判断法建立 TIN，是当已知三角形的两个顶点（即一条边）后，利用余弦定理计算备选第三顶点的三角形内角的大小，选择最大者对应的点为该三角形的第三顶点。其步骤为

(1) 将原始数据分块，以便检索所处理三角形邻近的点，而不必检索全部数据。

(2) 确定第一个三角形。从几个离散点中任取一点A，通常可取数据文件中的第一个点或左下角检索格网中的第一个点。在其附近选取距离最近的一个点B作为三角形的第二个点。然后对附近的点C_i，利用余弦定理计算 $\angle C_i$

$$\cos \angle C_i = \frac{a_i^2 + b_i^2 - c^2}{2a_i b_i} \quad (1)$$

其中 $a_i = BC_i$, $b_i = AC_i$, $c = AB$ 。

若 $\angle C = \max\{\angle C_i\}$ ，则 C 为该三角形第三顶点。

(3) 三角形的扩展。

由第一个三角形往外扩展，将全部离散点构成三角网，并要保证三角网中没有重复和交叉的三角形。其做法是依次对每一个已生成的三角形的新增加的两边，按角度最大的原则向外进行扩展，并进行是否重复的检测。

• 向外扩展的处理。若从顶点为 $P_1(X_1, Y_1)$, $P_2(X_2, Y_2)$, $P_3(X_3, Y_3)$ 的三角形之 P_1P_2 边向外扩展，应取位于直线 P_1P_2 与 P_3 异侧的点。 P_1P_2 直线方程为

$$F(X, Y) = (Y_2 - Y_1)(X - X_1) - (X_2 - X_1)(Y_2 - Y_1) = 0 \quad (2)$$

若备选点 P 之坐标为 (X, Y) ，则当

$$F(X, Y) \cdot F(X_3, Y_3) < 0$$

时，P 与 P_3 在直线 P_1P_2 的异侧，该点可作为备选扩展顶点。

• 重复与交叉的检测。由于任意一边最多只能是两个三角形的公共边，因此只需给每一边记下扩展的次数，当该边的扩展次数超过 2，则扩展无效；否则扩

展才有效。

5. 简述利用单张航空影像进行修测的原理。(10 分)

答：由于地图修测的主要内容是地物的增减，因而利用已有的 DEM 可进行单幅影像的修测，这样可节省资金与工时。其步骤为

- (1) 进行单幅影像空间后方交会，确定影像的方位元素；
- (2) 量测像点坐标 (x, y) ；
- (3) 取一高程近似值 Z_0 ；
- (4) 将 (x, y) 与 Z_0 代入共线方程，计算出地面平面坐标近似值 (X_1, Y_1) ；
- (5) 由 (X_1, Y_1) 及 DEM 内插出高程 Z_1 ；
- (6) 重复 (4), (5) 两步骤，直至 $(X_{i+1}, Y_{i+1}, Z_{i+1})$ 与 (X_i, Y_i, Z_i) 之差小于给

定的限差。

用单幅影像与 DEM 进行修测是一个迭代求解过程，当地面坡度与物点的投影方向与竖直方向夹角之和大于等于 90° 时，迭代将不会收敛。此时可在每两次迭代后，求出其高程平均值作为新的 Z ，或在三次迭代后由下式计算近似正确高程：

$$Z = \frac{Z_1 Z_3 - Z_2^2}{Z_1 + Z_3 - 2Z_2} \quad (1)$$

其中 Z_1, Z_2, Z_3 为三次迭代的高程值。此公式是在假定地面为斜平面的基础上推导出来的。

四. 综合题 (30 分)

1. 结合课间编程实习内容，请叙述基于特征点的影像匹配方法原理，并画出相应的程序框图。(15 分)

答：(1) 特征提取：采用一定的特征提取算法对左影像进行特征提取。特征点的分布则可有随机分布和均匀分布。对右影像也进行相应的特征提取，挑选预测区内的特征点作为可能的匹配点，或者右像不进行特征提取，将预测区内的每一点都作为可能的匹配点。或者右影像不进行特征提取，但也不将所有的点作为可能的匹配点，而用“爬山法”搜索，动态地确定各选点。爬山法主要用于二维匹配。对一维匹配仅用于在搜索区边沿取得匹配测度最大的情况。

(2) 特征点的匹配

当影像方位参数未知时，必须进行二维的影像匹配。如果形成核线影像进行一维匹配。如果采用金字塔影像的数据结构，可以采用“深度优先”方式进行匹配，即对最上一层左影像每提取到一个特征点，即对其进行匹配。然后将结果化算到下一层影像进行匹配，直至原始影像。也可以采用“广度优先”方式，即首先对最上一层影像进行特征提取与匹配，将全部点处理完后，将结果化算到下一层，并加密，进行匹配。重复以上过程直至原始影像。

(3) 匹配的准则。

除了运用一定的相似性测度（主要是相关系数）外，一般还可考虑特征的方向，周围已匹配点的结果，如将前一条核线已匹配的点沿边缘线传递到当前核线上同一边缘线上的点。由于特征点的信噪比应该较大，因此其相关系数也应较

大，故可设一较大的阈值，当相关系数高于阈值时，才认为其是匹配点，否则需利用其他条件进一步判别。经验表明，特征的相关系数一般都能达到 0.9 以上。

(4) 粗差的剔除。

可在一个小范围内利用倾斜平面或二次曲面为模型进行视差(或右片对应点位)拟合，将残差大于某一阈值的点作为粗差剔除。

(程序框图略)

2. 真实景观图与模拟景观图的区别是什么？请说明制作真实景观图的原理以及在 Virozo 作业流程。(15 分)

答：景观图比地图要形象、逼真，能够很好地表现地面的真实情况，它在工程设计、农林、水利、环境规划以及旅游等方面都有很好的应用。它分为真实景观图与模拟景观图，前者采用地面目标的真实纹理，而后者是人工利用目标对光线的反射程度来模拟再地面目标的。

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)，但此时的灰度值(或彩色)并不是由模拟计算得到的明暗度，而是取自对实地所摄影像的真实灰度值。

(1). 由 DEM 与原始影像制作景观图

- 将每一 DEM 格网划分为 $m \times n$ 个地面元，原则依然是使景观图上像素之间无缝隙并尽可能地大；
- 依次计算各地面元在景观图上的像素行列号 (I_i, J_i) ；
- 进行消隐处理；
- 由地面元计算其对应的原始影像像素行列号 (I_p, J_p) ；
- 由双线性内插计算 (I_p, J_p) 的灰度 $g_p(I_p, J_p)$ ；
- 将原始影像灰度 g_p 赋予景观图像素 (I_i, J_i)

$$g_i(I_i, J_i) = g_p(I_p, J_p)$$

以上过程实际上是将透视图的绘制与正射影像图的制作结合起来进行的过程。

(2). 由 DEM 与正射影像制作景观图

如果已经有了正射影像图，则不需利用原始影像，而可以直接利用正射影像制作景观图，这样可以大大地节省计算工作量。其处理过程的前(1)(2)(3)步与利用原始影像时完全相同，所不同的步骤为：

- 由地面元计算其对应的正射影像像素行列号，此时是简单的平移与缩放，而不需利用共线方程来计算；
- 将正射影像相应像素的灰度值 g_0 取出赋予景观图像素 (I_i, J_i)

$$g_i(I_i, J_i) = g_0$$

(作业流程略)

武汉大学 2007~2008 学年上学期

《摄影测量基础》试卷 (A)

学号： 姓名： 院系： 遥感信息工程 专业： 遥感科学与技术 得分：

一、填空题 (25 分, 每空 1 分)

- 1、中心投影的共线条件方程表达了_____、_____和_____三点位于_____的几何关系, 利用其解求单张像片 6 个外方位元素的方法称为_____, 最少需要_____个_____点。
- 2、摄影测量中, 为了恢复立体像对两张像片之间的相互位置关系, 可以根据左右像片上的_____点位于_____的几何条件, 采用_____方法来实现, 最少需要量测_____对同名像点。
- 3、摄影测量发展经历了_____、_____和_____三个阶段。
- 4、矩阵 Q_wP 主要用于研究_____, 其秩等于_____。
- 5、摄影测量中常用的坐标系有_____, _____, _____, _____。
- 7、空间坐标变换中的正交变换矩阵的 9 个元素中只有_____个独立元素。
- 8、摄影测量加密按数学模型可分为_____, _____和_____三种。

二、名词解释 (15 分, 每个 3 分)

- 1、影像核线:
- 2、内部可靠性:
- 3、人造立体视觉:
- 4、单模型绝对定向:
- 5、GPS 辅助空中三角测量:

三、简答题 (40 分, 每题 10 分)

- 1、画图示意以 X 轴为主轴的航摄像片的 6 个外方位元素, 并说明图中各符号的意义。
- 2、今利用带 POS 系统的数字航摄仪定点拍摄了一立体像对, 试问如何快速确定感兴趣点的地面三维坐标? 在 POS 系统提供的影像外方位元素无误差的情况下, 简要叙述其计算过程。

- 3、设在航高 H 处利用主距为 f 的航摄仪对同一地物拍得一张理想的和一张倾斜的航摄像片，试推导某地物点在两张像片上构像的像平面坐标间的几何关系，并详细说明式中各符号的意义。
- 4、如图 1 所示，已知物空间上的一点 A 高出平均高程面 E 为 h ，若航摄仪在 S 处对其进行摄影，则在像片 P 上会产生投影差 δ_h ，请在图 1 中图示 δ_h 。

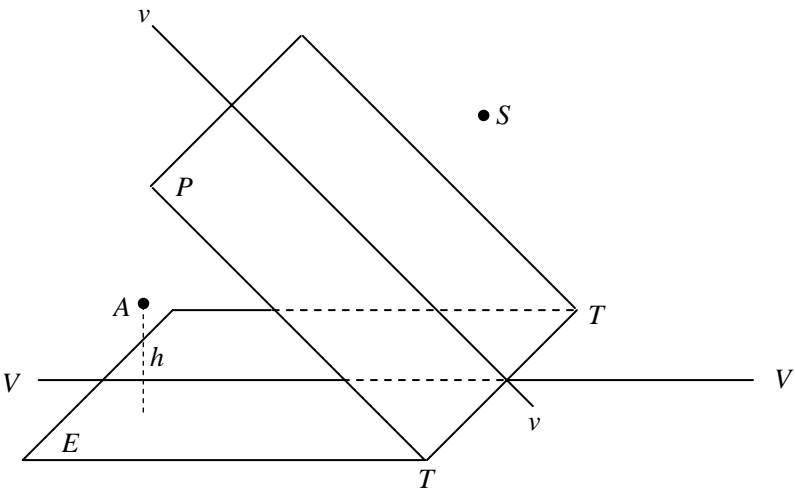


图 1

四、综合题（20 分，第①、②题各 5 分，第③题 10 分）

设某区域覆盖有 3 条航线 14 张像片（图 2），当采用光束法区域网平差时

- ① 当控制点无误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；
- ② 按最小带宽原则在图 2 中标出像片排列顺序号并求出带宽；
- ③ 绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。

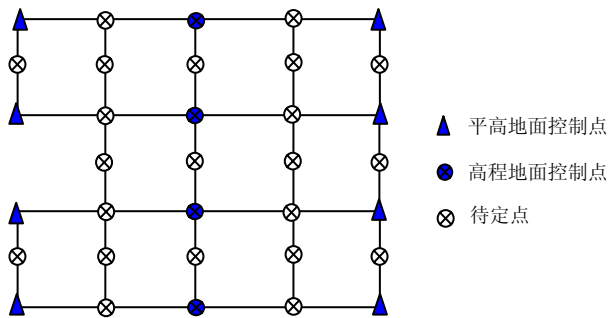


图 2

出卷人	袁修孝
教研室 负责人 审核签字	<div></div> <div>年 月 日</div>
共 2 页	第 2 页

武汉大学 2007~2008 学年上学期

《摄影测量基础》试卷 (A)

学号： 姓名： 院系： 遥感信息工程 专业： 遥感科学与技术 得分：

一、填空题 (25 分，每空 1 分)

- 1、中心投影的共线条件方程表达了 摄影中心、像点 和 对应地物点 三点位于 同一直线 的几何关系，利用其解求单张像片 6 个外方位元素的方法称为 单片空间后方交会，最少需要 3 个 平高地面控制 点。
- 2、摄影测量中，为了恢复立体像对两张像片之间的相互位置关系，可以根据左右像片上的 同名像点 位于 同一核面 的几何条件，采用 相对定向 方法来实现，最少需要量测 5 对同名像点。
- 3、摄影测量发展经历了 模拟摄影测量、解析摄影测量 和 数字摄影测量 三个阶段。
- 4、矩阵 $Q_w P$ 主要用于研究 观测值的可靠性，其秩等于 平差系统的多余观测数。
- 5、摄影测量中常用的坐标系有 像平面坐标、像空间坐标、像空间辅助坐标、地面摄影测量坐标、大地测量坐标。
- 7、空间坐标变换中的正交变换矩阵的 9 个元素中只有 3 个独立元素。
- 8、摄影测量加密按数学模型可分为 航带法、独立模型法 和 光束法 三种。

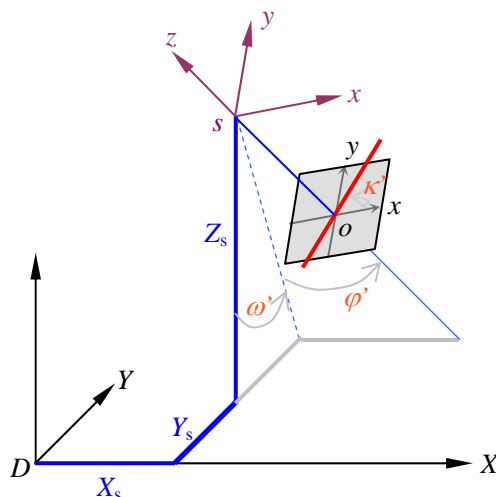
二、名词解释 (15 分，每个 3 分)

- 1、影像核线：立体像对中，同名光线与摄影基线所组成核面与左右像片的交线
- 2、内部可靠性：一定假设条件下，平差系统所能发现的模型误差的下限值
- 3、人造立体视觉：人眼观察立体像对获得立体视觉的效应。人造立体视觉需要满足 4 个条件：在不同摄站获取具有一定重叠度的两张影像；一只眼眼睛只能看一张像片；两张像片上同名点的连线大致与眼基线平行；两张像片的摄影比例尺相差不大，一般不超过 15%
- 4、单模型绝对定向：相对定向所构建的立体模型经平移、缩放、旋转后纳入到地面坐标系中的过程
- 5、GPS 辅助空中三角测量：将基于载波相位观测量的动态 GPS 定位技术获取的摄影中心曝光时刻的三维坐标作为带权观测值，引入光束法区域网平差中，整体求解影像外方位元素和加密点的地面坐标，并对其质量进行评定的理论和方法

三、简答题（40 分，每题 10 分）

1、画图示意以 X 轴为主轴的航摄像片的 6 个外方位元素，并说明图中各符号的意义。

【答】航摄像片的 6 个外方位元素如下图所示。其中， $D-XYZ$ 为地面摄影测量坐标系 $s-xyz$ 为像空间坐标系； $o-xy$ 为像平面坐标系。 X_s , Y_s , Z_s 为像片外方位线元素， ω' 为旁向倾角， φ' 为航向倾角， κ' 为像片旋转角。



2、今利用带 POS 系统的数字航摄仪定点拍摄了一立体像对，试问如何快速确定感兴趣点的地面三维坐标？在 POS 系统提供的影像外方位元素无误差的情况下，简要叙述其计算过程。

【答】首先人工量测或者自动匹配获取感兴趣的同名点像平面坐标。在无控制点的情况下，直接利用 POS 提供的外方位元素进行同名点前方交会，获取地面点的三维空间坐标；如有足够多的控制点，则先利用共线方程解求精确的像片外方位元素，并对 POS 提供的数据进行检校，然后再进行前方交会获取地面三维坐标。

当外像片方位元素无误差时，具体计算过程如下：

- (1) 量测并计算像点坐标： x_1, y_1, x_2, y_2 ；
- (2) 根据 POS 系统提供的像片外方位线元素计算摄影基线分量： B_x, B_y, B_z ；
- (3) 根据 POS 系统提供的外方位角元素计算同名像点的像空辅助坐标： $X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2$ ；
- (4) 计算点投影系数： N_1, N_2 ；
- (5) 计算地面点的三维坐标： X, Y, Z 。

3、设在航高 H 处利用主距为 f 的航摄影对同一地物拍得一张理想的和一张倾斜的航摄像片，试推导某地物点在两张像片上构像的像平面坐标间的几何关系，并详细说明式中各符号的意义。

【答】 根据共线条件方程，倾斜像片上一像点的像平面坐标与其对应地面点的三维坐标具有如下关系：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda \mathbf{R}^{-1} \begin{bmatrix} X_A - X_S \\ Y_A - Y_S \\ Z_A - Z_S \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中， x, y 为像点的像平面坐标； f 为航摄影主距； X_A, Y_A, Z_A 为地面点坐标； X_S, Y_S, Z_S 为像片外方位线元素； $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}$ 表示由像片外方位角元素组成的正交变换矩阵。对于同一

摄站所拍摄的理想像片 \mathbf{R} 为单位阵，当同一地面点在理想像片的构像为 x_t, y_t 时，有

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ -f \end{bmatrix} = \lambda_t \begin{bmatrix} X_A - X_S \\ Y_A - Y_S \\ Z_A - Z_S \end{bmatrix} \quad (2)$$

将 (1) 式代入 (2) 式，得到：

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ -f \end{bmatrix} = \frac{\lambda_t}{\lambda} \mathbf{R} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} \quad (3)$$

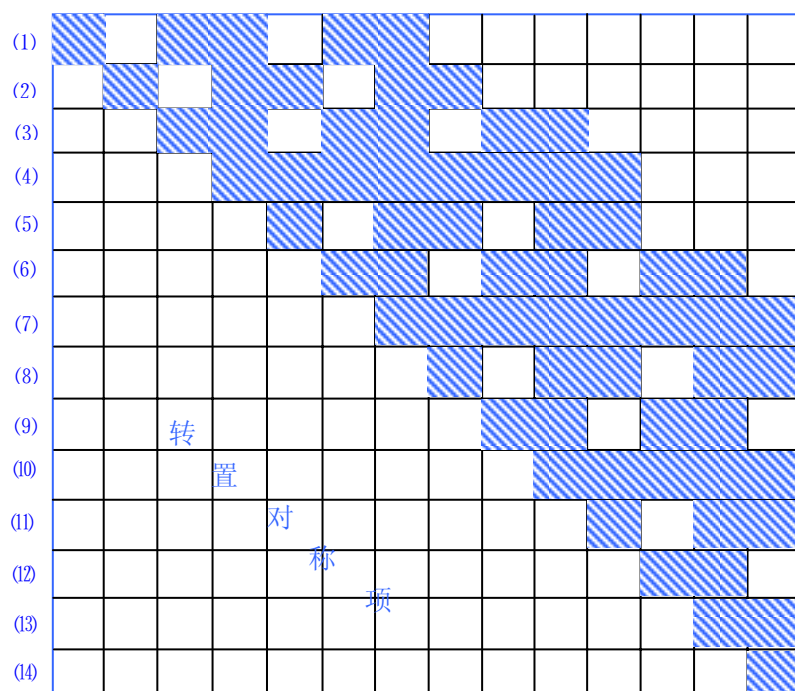
展开后得到：

$$\begin{aligned} x_t &= -f \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ y_t &= -f \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 式即为某地物点在两张像片上构像的像平面坐标间的几何关系。

4、如图 1 所示，已知物空间上的一点A高出平均高程面E为 h ，若航摄影在S处对其进行摄影，则在像片P上会产生投影差 δ_h ，请在图 1 中图示 δ_h 。

【答】 图 1 所示的红色线段为 δ_h 。其中， n 为像底点， i 为主合点。



改化法方程系数结构图

武汉大学 2007—2008 学年下学期

《数字摄影测量》试卷 (A)

学号： 姓名： 院系： 专业： 得分

一、填空（每个空 1 分，共 20 分）

- 1、相关系数是_____线性变换的不变量。
- 2、跨接法影像匹配与最小二乘法影像匹配处理方式不同，它先作_____，后作_____。
- 3、_____和_____共同称为立体正射影像对。
- 4、所有图形必须绘在某一窗口之内，而不应超出窗口之外，称为_____。
- 5、特征匹配可分为三步：①_____； ②_____； ③利用参数进行特征匹配。
- 6、当欲知不在采样点上的影像的灰度值时就需进行内插，此时称为_____。
- 7、影像匹配实质上是在两幅（或多幅）影像之间识别_____。
- 8、仅考虑辐射的线性畸变的最小二乘匹配是_____。
- 9、从粗到精的相关策略。即先通过_____，进行初相关，找到同名点的粗略位置，然后利用高频信息进行_____。
- 10、先按预定的比较稀疏的间隔进行采样，获得一个较稀疏的格网，然后分析是否需要对该格网加密，称为_____。
- 11、数字摄影测量系统是由_____代替人的立体量测与识别，完成影像几何与物理信息的自动提取。
- 12、_____是根据光标在屏幕上的位置，检索出光标所指物体（或点、线）的序号。
- 13、图板定向的目的是建立空间坐标系（大地坐标系）与_____之间的变换关系。
- 14、通过相关函数的谱分析可知，当信号中高频成分较少时，相关函数_____，但相关的_____；
- 15、_____是利用计算机对数字影像进行数值计算的方式完成影像的相关。

二、概念解释（每题 4 分，共 20 分）

1) 数字高程模型；2) 核线重排列；3) 单片修测；4) 金字塔影像；5) 数字微分纠正；

三、简答题(30 分)

1. 请说明考虑辐射畸变的核线影像最小二乘匹配的原理及过程。(10 分)

2. 简述一种数字高程模型的内插方法原理及特点。(10 分)
3. 分析基于特征点匹配中备选点三种不同选择方式的优缺点？(10 分)

四. 综合题 (30 分)

1. 结合课间编程实习内容，请叙述两种特征点提取算法的流程和特点，结合具体数据说明选择不同的计算窗口和候选窗口对特征点数量以及质量的影响结果。并画出相应的程序框图。(15 分)
2. 试说明基于灰度差平方最小、单点最小二乘法与多点最小二乘法影像匹配这三种算法的区别与联系。(15 分)

出卷人	潘励
教研室 负责人 审核签字	年 月 日
共 1 页	第 1 页

武汉大学 2007—2008 学年下学期

《数字摄影测量》试卷（A）答案

一、填空（每个空 1 分，共 20 分）

- 1、灰度；
- 2、几何改正，影像匹配；
- 3、正射影像，相应的立体匹配片；
- 4、窗口外裁剪；
- 5、特征提取，特征描述；
- 6、重采样；
- 7、同名点；
- 8、相关系数；
- 9、低通滤波，精确相关；
- 10、渐进采样；
- 11、计算机视觉；
- 12、屏幕检索表；
- 13、绘图坐标系；
- 14、曲线陡峭，拉入范围较大；
- 15、数字相关。

二、概念解释（每题 4 分，共 20 分）

1) 数字高程模型：

【答】是数字地面模型 DTM 只考虑地形分量时的结果, 表示某一区域 D 上地形的三维向量有限序列 $\{Z_i=(X_i, Y_i, Z_i), i=1, 2, \dots, n\}$, 其中 $(X_i, Y_i) \in D$ 是平面坐标, Z_i 是 (X_i, Y_i) 对应的高程。

2) 核线重排列：

【答】由于一般情况下数字影像的扫描行与核线并不重合，为了获取核线的灰度序列，对原始数字影像灰度进行的重采样，亦即对原始灰度函数值进行内插。

3) 单片修测：

【答】利用单张像片与 DEM 对地图进行修测，主要内容为地物的增减，相比于传统方法可以节省资金与工时，是一个迭代求解的过程。

4) 金字塔影像：

【答】对二维影像进行低通滤波，并逐渐增大采样间隔，形成的影像像素数依次减少的影像序列；

5) 数字微分纠正：

【答】根据有关的参数和数字地面模型，利用相应的构像方程式，或按一定的数学模型用控制点解算，将原始非正射投影的数字影像将影像化为很多微小的区域，逐一利用数字方式进行纠正获取正射影像。

三. 简答题(30 分)

1. 请说明考虑辐射畸变的核线影像最小二乘匹配的原理及过程。(10 分)

【答】对于核线影像而言，同名核线上不存在上下视差， $q=0$. 即对某一个像点(像素)而言，其几何变形主要是 x 方向存在位移 p 。则在考虑辐射畸变时，左右影像的两个一维灰度函数 $g_1(x)$, $g_2(x)$ 应满足：

$$g_1(x) + n_1(x) = h_0 + h_1 g_2(x+p) + n_2(x)$$

或
$$v(x) = h_0 + h_1 g_2(x+p) - g_1(x)$$

经线性化后，即可得最小二乘影像匹配的误差方程式

$$v = c_1 dh_0 + c_2 dh_1 + c_3 dp - [g_1(x) - g_2(x)]$$

其中， $c_1 = 1$
 $c_2 = g_2$

$$c_3 = \frac{g_2(x+\Delta) - g_2(x-\Delta)}{2\Delta} \quad (\Delta \text{ 为采样间隔})$$

按上式逐个像元（在目标区内）建立误差方程式，其矩阵形式为

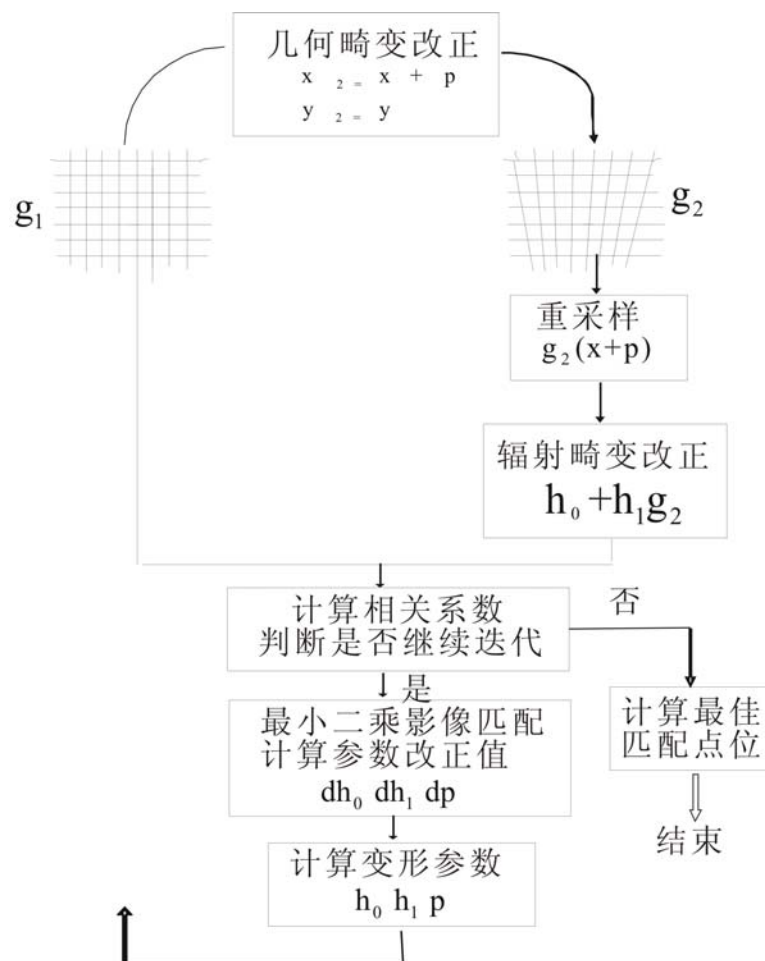
$$V = CX - L$$

$$X = [dh_0 \quad dh_1 \quad dp]^T$$

由误差方程式建立法方程式

$$(C^T C) X = (C^T L)$$

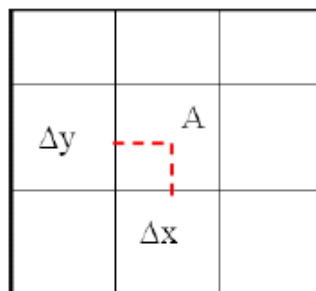
最小二乘匹配的迭代过程如图：



2. 简述一种数字高程模型的内插方法原理及特点。(10 分)

【答】 一次样条有限元数字高程模型内插方法的原理为：

$$\phi(x, y) = (1 - \Delta x)(1 - \Delta y)C_{i,j} + \Delta x(1 - \Delta y)C_{i+1,j} + (1 - \Delta x)\Delta y C_{i,j+1} + \Delta x\Delta y C_{i+1,j+1}$$



如上所示 A (X, Y) 距格网点 (i, j) 的距离分别为 Δx 、 Δy ，(Δx 、 Δy 是以格网边长为单位时点 A 相对于点 P_{ij} 的坐标增量) 则根据线性内插原理可知：

$$v_A = (1 - \Delta X)(1 - \Delta Y)Z_{i,j} + \Delta X(1 - \Delta Y)Z_{i+1,j} + (1 - \Delta X)\Delta Y Z_{i,j+1} + \Delta X\Delta Y Z_{i+1,j+1} - Z_A$$

在有 n 个已知高程点时，可列出 n 个方程，用平差的方法即可求得格网点的高程，为了保证地面的圆滑和连续可引入 x 和 y 方向的二次差分为 0 作为虚拟观测值：

$$\begin{aligned}v_X(i, j) &= Z_{i-1, j} - 2Z_{i, j} + Z_{i+1, j} - 0 \\v_Y(i, j) &= Z_{i, j-1} - 2Z_{i, j} + Z_{i, j+1} - 0\end{aligned}$$

结合观测值和虚拟观测值，采用最小二乘法解算即可内插得到格网点处的高程值 $z(i, j)$ 。

该方法的特点在于其获取的是整个曲面规则格网上的高程值。正因为采用了整体解求的方法，考虑了实际地形的连续性与整体的协调性，可以纠正或避免错误的结果。同时第二类误差方程在连续性的基础上，还保证了高程曲面的连续性。

3. 分析基于特征点匹配中备选点三种不同选择方式的优缺点？（10 分）

【答】（1）对右影像也进行相应的特征提取，挑选预测区内的特征点作为可能的匹配点；

（2）右影像不进行特征提取，将预测区内的每一点都作为可能的匹配点；

（3）右影像不进行特征提取，但也不将所有的点作为可能的匹配点，而用“爬山法”搜索，动态地确定各选点。爬山法主要用于二维匹配。对一维匹配仅用于在搜索区边沿取得匹配测度最大的情况。

三种方法比较之下，右影像也提取特征点策略下的影像匹配在一定程度上减少了错误匹配的可能性，相比于右影像不提取特征点策略下的影像匹配得到的同名点的准确性高；但另一方面右影像不提取特征点策略下的影像匹配得到的同名点对数多一些，因为其拉入范围较大，无法找到同名点的可能性相对较小。在二维匹配中，利用爬山法搜索匹配法考虑了特征的方向进行动态选择，在一定程度上减少了搜索的盲目性，有助于提高效率。但其缺点是在方向错误的情况下便难以再找到正确的点，即可靠性不如前两种方法高。

四. 综合题（30 分）

1. 结合课间编程实习内容，请叙述两种特征点提取算法的流程和特点，结合具体数据说明选择不同的计算窗口和候选窗口对特征点数量以及质量的影响结果。并画出相应的程序框图。（15 分）

（一）两种算子介绍

●Moravec 算子利用灰度方差提取点特征，其步骤为：

（1）计算各像元的兴趣值 IV

$$\left. \begin{aligned}V_1 &= \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c+i, r} - g_{c+i+1, r})^2 \\V_2 &= \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c+i, r+i} - g_{c+i+1, r+i+1})^2 \\V_3 &= \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c, r+i} - g_{c, r+i+1})^2 \\V_4 &= \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c+i, r-i} - g_{c+i+1, r-i-1})^2\end{aligned} \right\}$$

（2）给定一经验阈值，将兴趣值大于阈值的点作为候选点。

（3）选取候选点中的极值点作为特征点。

●Forstner 算子通过计算各像素的 Robert's 梯度和灰度协方差矩阵，寻找具有尽可能小而接近圆的误差椭圆的点作为特征点。其步骤为：

(1) 计算各像素的 Robert's 梯度

$$\left. \begin{aligned} g_u &= \frac{\partial g}{\partial u} = g_{i+1, j+1} - g_{i, j} \\ g_v &= \frac{\partial g}{\partial v} = g_{i, j+1} - g_{i+1, j} \end{aligned} \right\}$$

(2) 计算 $l \times l$ (如 5×5 或更大) 窗口中灰度的协方差矩阵

$$Q = N^{-1} = \begin{bmatrix} \sum g_u^2 & \sum g_u g_v \\ \sum g_v g_u & \sum g_v^2 \end{bmatrix}^{-1}$$

其中

$$\begin{aligned} \sum g_u^2 &= \sum_{i=c-k}^{c+k-1} \sum_{j=r-k}^{r+k-1} (g_{i+1, j+1} - g_{i, j})^2 \\ \sum g_v^2 &= \sum_{i=c-k}^{c+k-1} \sum_{j=r-k}^{r+k-1} (g_{i, j+1} - g_{i+1, j})^2 \\ \sum g_u g_v &= \sum_{i=c-k}^{c+k-1} \sum_{j=r-k}^{r+k-1} (g_{i+1, j+1} - g_{i, j})(g_{i, j+1} - g_{i+1, j}) \end{aligned}$$

(3) 计算兴趣值 q 与 w :

$$\omega = \frac{\text{Det}N}{\text{tr}N}, \quad q = \frac{4\text{Det}N}{(\text{tr}N)^2}$$

(4) 确定待选点, 如果兴趣值大于给定的阈值, 则该象元为待选点。

(5) 选取极值点, 以权值 ω 为依据选择极值点, 即在一个适当的窗口中选择最大的待选点, 而去掉其余的点。

(二) Moravec 算子与 Forstner 算子效果比较

Moravec 算法相对简单, 运行速度较 Forstner 更快。

Forstner 比 Moravec 提取特征点的精度要高, 且提取的点分布更为均匀。

Moravec 算子对一些反差较大的地物边缘提取的效果较好, 而反差较小的边缘提取效果较差, 这是由 Moravec 算子阈值, 窗口大小的选取和算法本身所决定的。

Forstner 算子通过在最佳窗口内进行加权中心化的操作, 可以将定位精度提高到子像素, 速度快, 但受图像灰度及对比度的影响比较大。

Forstner 算法对边缘点比 Moravec 算法灵敏, 即 Forstner 比 Moravec 容易识别边缘特征。前者的精度比后者的高。

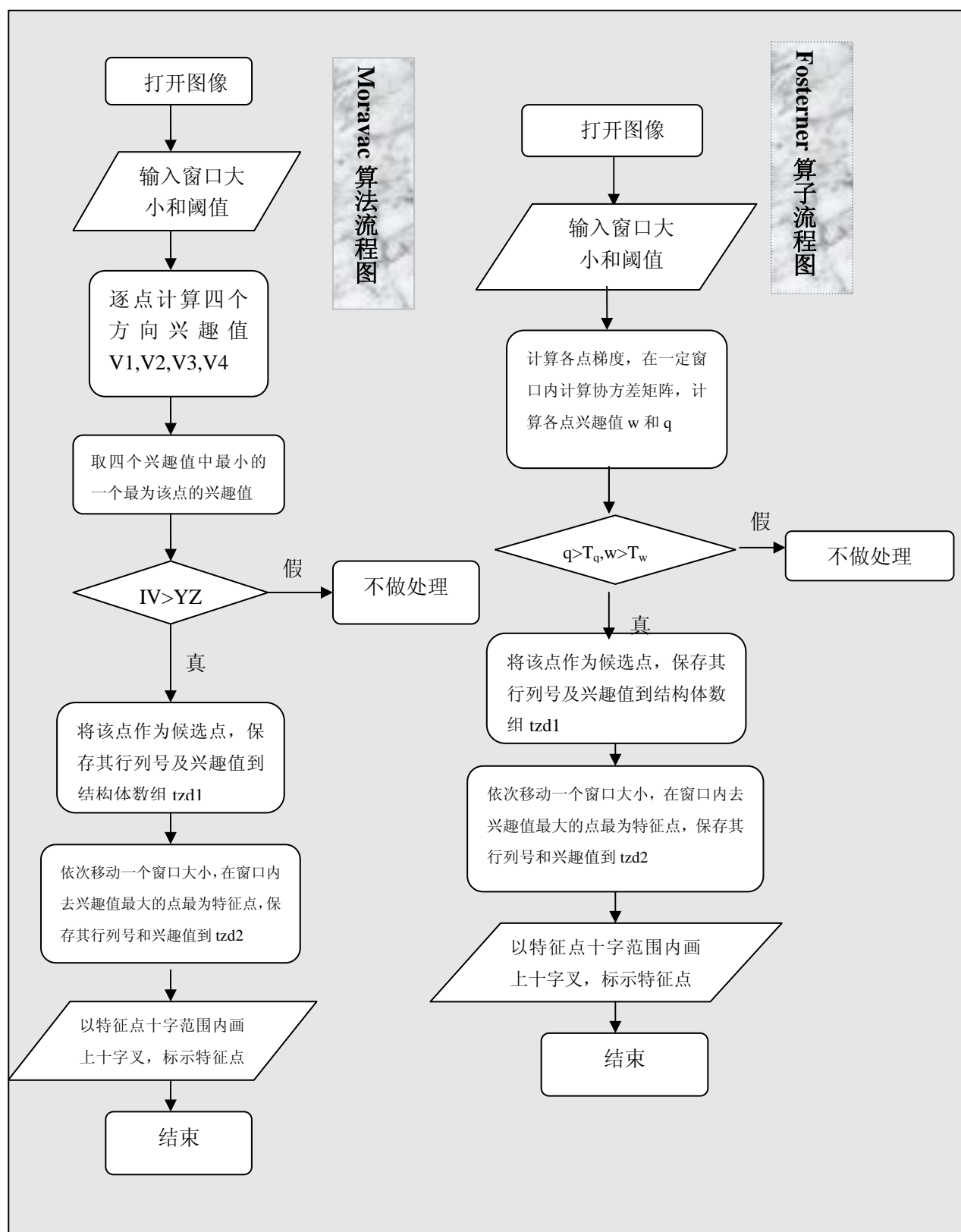
(三) 窗口大小对点特征提取的影响

当计算窗口大小一定时, 候选窗口的大小对特征点的提取无太大影响

当候选窗口大小一定时, 计算窗口的大小对特征点的提取有一定的影响。(计算窗口越大, 提取的特征点越多)

窗口大小一定时, 阈值越大, 特征点越多。

阈值一定时, 窗口越大, 特征点也越多。



2. 试说明基于灰度差平方最小、单点最小二乘法与多点最小二乘法影像匹配这三种算法的区别与联系。(15 分)

“灰度差平方最小”通过比较目标区和搜索区中相同大小的窗口的灰度差的平方和，取搜索区中灰度差平方和最小时所对应的窗口中心点作为同名点；最小二乘法影像匹配是指顾及影像的几何

和辐射畸变并引入相应的变形参数，同时按最小二乘的原则解求这些参数，将相关系数最大处的左片目标窗口采用坐标梯度加权平均作为目标点，右影像同名点的位置由求得的几何参数计算而得;多点最小二乘影像匹配是将有限元内插法与最小二乘影像匹配相结合，直接解求规则分布格网上的视差(或高程)的整体影像匹配方法。

三种匹配算法的相同点在于都是基于像方、基于灰度的影像匹配。

●不同点:

“灰度差平方最小”影像匹配是基于单点的，仅考虑左右影像灰度差，以其平方和的值作为求解同名点的依据，匹配精度与窗口大小、影像信噪比有关;

“单点最小二乘法”影像匹配也是基于单点的，把像素的灰度值视为观测值，并充分考虑了影像的几何畸变、辐射畸变等系统误差改正，改善了影像匹配的精度；它采用最小二乘法计算原则，有利于考虑观测值（像素）与观测值或其他地面目标之间的关系，灵活应用这些控制条件，使其的精度和可靠性有所提高，可达子像素级，并使它的解的形式不仅仅局限与传统的左右位移；匹配点的位置在左片中是通过窗口梯度加权平均而求得，右影像由求得的几何参数计算而得，匹配精度与信噪比、影像的纹理结构有关；最小二乘影像匹配可以进行多张影像的匹配，并能够与其他匹配算法相结合；在最小二乘影像匹配中，由于观测误差方程式是非线性函数，需要进行线性化，因此需要较为准确的初值且需要迭代求解

“多点最小二乘法”影像匹配则是基于整体的影像匹配。以上两种基于单点的影像匹配方法中结果的正确与否与周围的点并无联系或只有很弱的联系，而多点最小二乘影像匹配则考虑了相容性、一致性、整体协调性，可以纠正或避免错误的结果，从而提高影像匹配的可靠性；多点最小二乘匹配不仅可以基于像方，也可以基于物方，还可以在匹配过程中同时确定地形特征线，其求解的结果影像整体规则分布格网上的视差(或高程)。多点最小二乘法的缺点在于收敛速度很慢。

出卷人	潘励
教研室 负责人 审核签字	年 月 日
共 1 页	第 1 页

武汉大学 2008~2009 学年上学期

《摄影测量基础》试卷 (A)

学号: _____ 姓名: _____ 院系: 遥感信息工程 专业: 遥感科学与技术 得分: _____

一、填空题 (25 分, 每空 1 分)

- 1、航摄像片为_____投影, 地形图是_____投影。
- 2、摄影测量中, 恢复影像空中姿态的方法有_____

影像角元素的表示可采用以____轴为主轴的_____转角系统、以____轴为主轴的_____转角系统以及以____轴为主轴的_____转角系统。
- 3、利用航摄像片进行立体观察的条件是_____
_____和
_____。
- 4、矩阵 Q_wP 的秩等于_____。
- 5、摄影测量中常用的坐标系有_____

_____。
- 6、GPS 辅助空中三角测量的目的是_____。
- 7、摄影测量加密按区域大小可分为_____
_____和_____三种。
- 8、摄影基线与任一物方点所作的平面称为_____。

二、名词解释 (15 分, 每个 3 分)

- 1、主合点:
- 2、单片空间后方交会:
- 3、相对定向元素:
- 4、外部可靠性:
- 5、自检校光束法区域网平差:

三、简答题 (45 分, 每题 15 分)

- 1、画图并推导共线条件方程, 简要说明式中各符号的意义。

2、利用带 POS 系统的航摄仪拍摄了某一房屋的一个立体像对，试问如何快速确定房屋的地理位置？在 POS 系统提供的影像外方位元素无误差的情况下，简要叙述其计算过程。

3、已知物空间上的一点 A ，若航摄仪在 S 处对其分别拍摄了一张倾斜像片 P 和一张水平像片 P^0 ， y 和 y^0 分别为 P 和 P^0 的主纵线，请在图 1 中标绘出由于像片倾斜所引起的 A 点的像点位移 δ_a 。

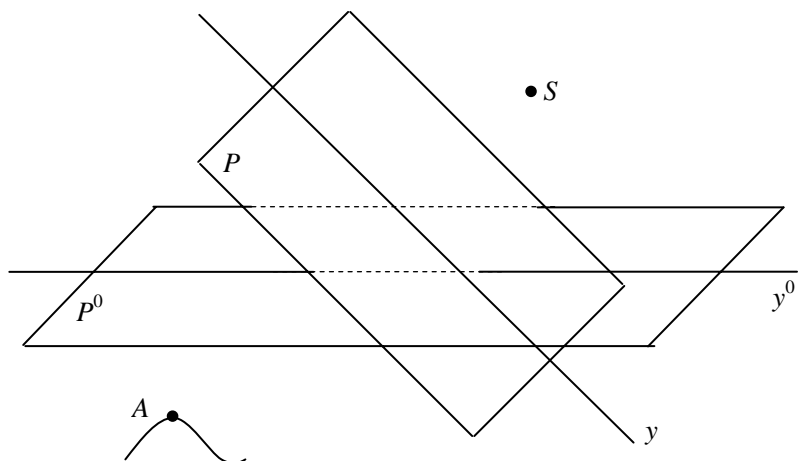


图 1

四、综合题（15 分，每小题 5 分）

设某区域覆盖有 3 条航线 13 张像片（图 2），当采用光束法区域网平差时

- ① 控制点无误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；
- ② 按最小带宽原则在图 2 中标出像片排列顺序号并求出带宽；
- ③ 绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。

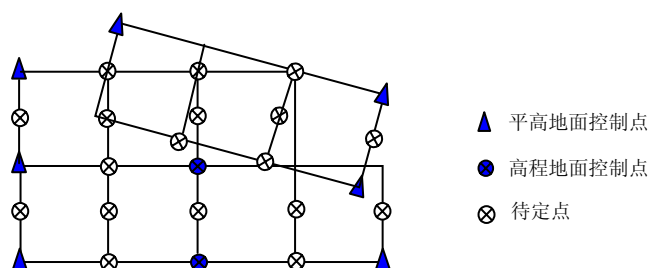


图 2

出卷人	袁修孝，刘亚文，季顺平
教研室 负责人 审核签字	2008 年 12 月 23 日
共 2 页	第 2 页

武汉大学 2008~2009 学年上学期

《摄影测量基础》试卷 (A)

学号： 姓名： 院系： 遥感信息工程 专业： 遥感科学与技术 得分：

一、填空题 (25 分, 每空 1 分)

- 1、航摄像片为中心投影, 地形图是正射投影。
- 2、摄影测量中, 恢复影像空中姿态的方法有单片空间后方交会、先相对定向再绝对定向、POS 系统直接获取外方位元素。影像角元素的表示可采用以y轴为主轴的 $\varphi-\omega-\kappa$ 转角系统、以x轴为主轴的 $\omega'-\varphi'-\kappa'$ 转角系统以及以z轴为主轴的 $A-\alpha-\kappa$ 转角系统。
- 3、利用航摄像片进行立体观察的条件是从两个摄站对同一物体拍摄的立体像对、一只眼睛只看一张像片和眼基线与摄影基线大致平行。
- 4、矩阵 $Q_{vv}P$ 的秩等于平差系统的多余观测数。
- 5、摄影测量中常用的坐标系有像平面坐标系、像空间坐标系、像空间辅助坐标系、地面摄影测量坐标系、地面测量坐标系。
- 7、GPS 辅助空中三角测量的目的是大大减少摄影测量加密所需的地面控制点数。
- 8、摄影基线与任一物方点所作的平面称为核面。

二、名词解释 (15 分, 每个 3 分)

- 1、主合点：地面上的一组平行于摄影方向线的直线在像片上构像的交点。
- 2、单片空间后方交会：利用单张影像覆盖范围内一定数量的地面控制点与其对应的像点，根据共线条件方程反求影像外方位元素的方法。
- 3、相对定向元素：恢复相邻像片间摄影光束相互位置关系的参数。
- 4、外部可靠性：一定显著性水平和检验功效下，平差系统不能发现的模型误差对平差结果的影响。
- 5、自检校光束法区域网平差：将若干附加参数的构成系统误差模型与光束法区域网平差模型组成基础误差方程组，在解求影像定向参数与加密点坐标未知数的同时解求这些附加参数，从而在平差过程中自检定和消除系统误差的摄影测量区域网平差方法。

三、简答题（45 分，每题 15 分）

1、画图并推导共线条件方程，简要说明式中各符号的意义。

【答】设摄影中心 S 在某一规定的物方空间右手直角坐标系中的坐标为 (X_s, Y_s, Z_s) ，任一地面点 A 在该物方空间坐标系中的坐标为 (X_A, Y_A, Z_A) ， A 在像片上的构像 a 在像空间坐标和像空间辅助坐标分别为 $(x, y, -f)$ 和 (X, Y, Z) ，摄影时 S 、 a 、 A 三点位于一条直线上（如下图所示）且满足：

$$\frac{X}{X_A - X_s} = \frac{Y}{Y_A - Y_s} = \frac{Z}{Z_A - Z_s} = \lambda \quad (1)$$

即：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} X_A - X_s \\ Y_A - Y_s \\ Z_A - Z_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

又像空间坐标和像空间辅助坐标满足：

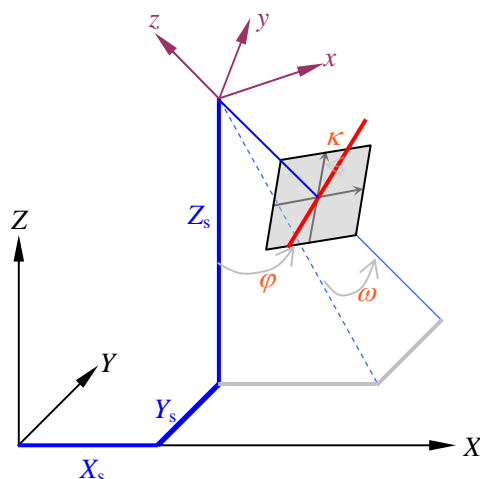
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ f \end{bmatrix} = \mathbf{R}^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中， $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}$ 表示由影像外方位角 φ, ω, κ 元素组成的旋转矩阵。

将式（3）中的第一行和第二行分别除以第三行，得到：

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X_A - X_s) + b_1(Y_A - Y_s) - c_1(Z_A - Z_s)}{a_3(X_A - X_s) + b_3(Y_A - Y_s) - c_3(Z_A - Z_s)} \\ y &= -f \frac{a_2(X_A - X_s) + b_2(Y_A - Y_s) - c_2(Z_A - Z_s)}{a_3(X_A - X_s) + b_3(Y_A - Y_s) - c_3(Z_A - Z_s)} \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)即为摄影中心、像点与其对应物点三点位于一条直线上的共线条件方程。



2、利用带 POS 系统的航摄影拍摄了某一房屋的一个立体像对，试问如何快速确定房屋的地理位置？在 POS 系统提供的影像外方位元素无误差的情况下，简要叙述其计算过程。

【答】直接利用 POS 提供的影像外方位元素进行基于点投影系数的空间前方交会，获取每一个房屋角点的三维空间坐标，即可快速确定房屋的地理位置。当 POS 系统提供的影像外方位元素无误差时，可按如下步骤进行：

1) 人工立体量测每一个房屋角点的像平面坐标，如 x_1, y_1, x_2, y_2 ；

2) 根据 POS 系统提供的影像外方位线元素计算摄影基线分量：

$$B_x = X_{s2} - X_{s1}, B_y = Y_{s2} - Y_{s1}, B_z = Z_{s2} - Z_{s1};$$

3) 根据 POS 系统提供的影像外方位元素角元素计算每个房屋点的像空辅助坐标:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \mathbf{R}_1 \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ f_1 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \mathbf{R}_2 \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ f_2 \end{bmatrix};$$

4) 计算点投影系数: $N_1 = \frac{X_{s2} - X_{s1}, B_y = Y_{s2} - Y_{s1}, B_z = Z_{s2} - Z_{s1}}{X_{s1} + N_1 X_1, Y_{s1} + N_1 Y_1, Z_{s1} + N_1 Z_1};$

5) 计算每个房屋角点的三维坐标: $X = X_{s1} + N_1 X_1, Y = \frac{1}{2}(Y_{s1} + N_1 Y_1 + Y_{s2} + N_2 Y_2), Z = Z_{s1} + N_1 Z_1;$

重复步骤获取 (1) ~ (5), 计算所有房屋角点的三维坐标, 从而确定该房屋的地理位置。

3、已知物空间上的一点A, 若航摄仪在S处对其分别拍摄了一张倾斜像片P和一张水平像片P⁰, y和y⁰分别为P和P⁰的主纵线, 请在图1中标绘出由于像片倾斜所引起的A点的像点位移 δ_a 。

【答】如图1所示: V为摄影方向线; c为等角点; C为地等角点; i为倾斜像片上的主合点。连接SA分别交P于a, 交P⁰于a⁰; 分别连接ca和ca⁰, 以c为圆心, ca为半径作圆弧交ca⁰于a', 连接a⁰a', 则a⁰a'为像片倾斜引起的像点位移 δ_a 。

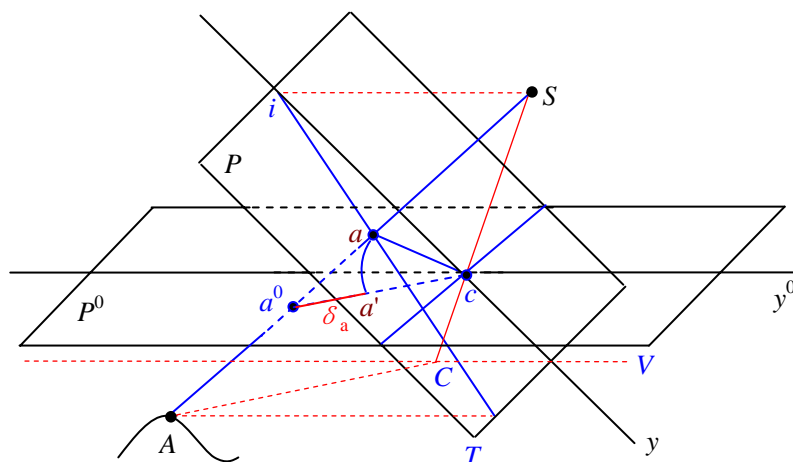


图 1

四、综合题 (15 分, 每题各 5 分)

设某区域覆盖有 3 条航线 13 张像片 (图 2), 当采用光束法区域网平差时

- ① 控制点无误差时, 观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ;
- ② 按最小带宽原则在图 2 中标出像片排列顺序号并求出带宽;
- ③ 绘出改化法方程系数矩阵结构图 (保留像片外方位元素)。

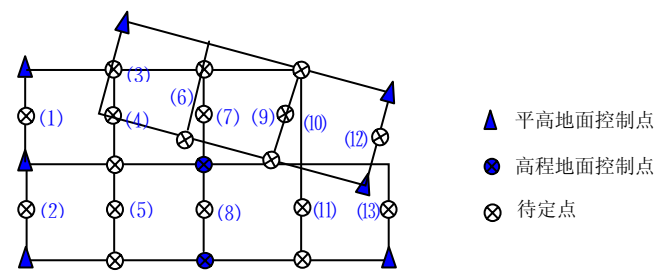


图 2

【答】① 观测值个数： $n=(5+9+9+6+6+10+10+6+6+9+9+9+5) \times 2=99 \times 2=198$;

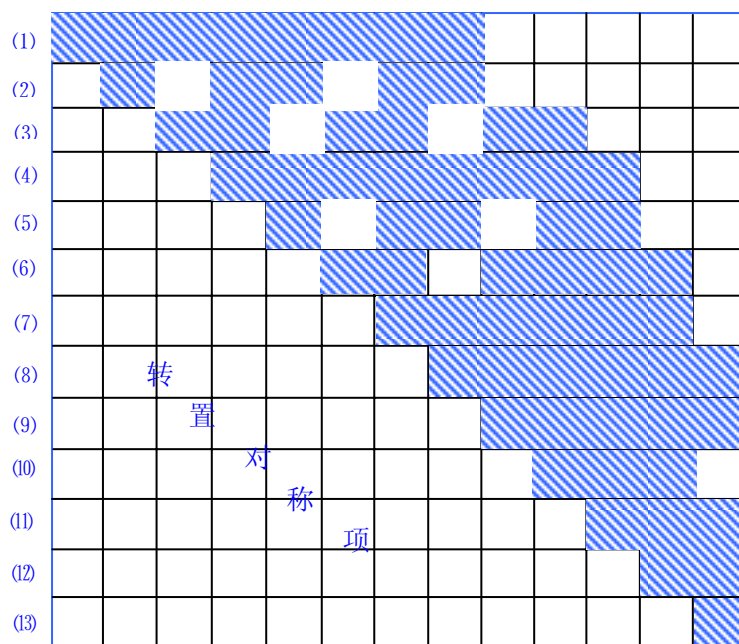
未知数个数： $t=13 \times 6+18 \times 3+2 \times 2=136$;

多余观测数： $r=n-t=198-136=62$ 。

② 按照垂直航线方向进行像片编号，如图 2 的数字所示。

此时带宽为 $8 \times 6=48$ 。

③ 下图为垂直航向排列像片时的改化法方程系数结构图。



武汉大学 2008—2009 学年下学期

《数字摄影测量》试卷（A）

学号： 姓名： 院系： 专业： 得分

一、判断题：（请判断下列概念或说法是否正确，对的在题后括号内打“√”，错的打“×”，每小题 1 分，共 10 分）

- 1、摄影测量与遥感是从非接触成像和其他传感器系统、通过记录、量测、分析与表达等处理、获取地球及其环境和其它物体可靠信息的工艺、科学与技术。（ ）
- 2、数字摄影测量是将摄影测量的基本原理与计算机视觉相结合，从数字影像中自动（半自动）提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息。数字摄影测量也称为硬拷贝摄影测量。（ ）
- 3、数字地面模型DTM是表示区域D上地形的三维向量有限序列 $\{V_i = (X_i, Y_i, Z_i), i=1, 2, \dots, n\}$ ，其中 Z_i 是 (X_i, Y_i) 对应的高程。（ ）
- 4、所谓真正射影像，就是在数字微分纠正过程中，要以数字表面模型为基础来进行数字微分纠正。（ ）
- 5、图板定向的目的是建立空间坐标系（大地坐标系）与像片坐标系之间的变换关系。（ ）
- 6、先按预定的比较稀疏的间隔进行采样，获得一个较稀疏的格网，然后分析是否需要对格网加密，称为选择采样。（ ）
- 7、在一条核线上的任一点在另一幅影像上的同名像点必定位在其同名核线上。（ ）
- 8、随机信号的相关系数与其功率谱是一傅立叶变换对，即相关系数的傅立叶变换即功率谱，而功率谱的逆傅立叶变换即相关系数。（ ）
- 9、坐标表是根据光标在屏幕上的位置，检索出光标所指物体（或点、线）的序号。（ ）
- 10、所有图形必须绘在某一窗口之内，而不应超出窗口之外，称为窗外剪裁。（ ）

二、单项选择题：（从下列各题备选答案中选出一个正确答案，将其代号写在答题纸上。每小题 1 分，共 10 分）

- 1、通过摄影基线与任一物方点A所作的平面称为通过点A的_____。
A 倾斜面 B 摄影面 C 水平面 D 核面
- 2、传统内定向需要借助影像的_____来完成。
A 主点 B 框标 C 焦距 D 摄影中心

- 3、当欲知不在采样点上的影像的灰度值时就需进行内插，此时称为_____。
- A 重采样 B 采样 C 离散化 D 量化
- 4、_____是利用计算机对数字影像进行数值计算的方式完成影像的相关。
- A 电子相关 B 光学相关
- C 数字相关 D 核线相关
- 5、当影像功率谱曲线较平缓，高频信息较丰富，此时相关函数曲线_____，相关精度高，但拉入范围较小。
- A 较平缓 B 较陡峭
- C 呈线性变化 D 不变
- 6、多点最小二乘匹配是将_____与最小二乘匹配相结合，直接解求规则分布格网上的视差的整体影像匹配方法。
- A 线性内插法 B 双三次卷积法
- C 有限元内插法 D 移动曲面内插法
- 7、影像匹配的精度与信噪比有关，信噪比愈大则精度愈_____。
- A 差 B 高 C 不变 D 不确定
- 8、_____算子是在四个主要方向上，选择具有最大——最小灰度方差的点作为特征点。
- A Forstner B Harris
- C Moravec D Robert's 梯度
- 9、由纠正后的像点坐标反求其在原始图像上的像点坐标_____。
- A 正解法 B 间接法
- C 混合法 D 投影法
- 10、IKONOS 卫星图像有理多项式系数（RPC）参数共有_____个，其中包括有理多项式系数和正则化参数。它们一起构成了 IKONOS 卫星图像的有理函数模型。
- A 90 B 80
- C 85 D 10

三. 简答题(50 分)

1. 简述真实景观图的制作原理。(10 分)
2. 简述基于不规则三角网绘制等高线的方法和过程。(10 分)

3. 在某个连续光滑的区域内有 N 个分布不规则的数据点,请叙述如何利用多面函数高程模型内插的方法内插规则矩形网点的高程,请给出算法过程。(10 分)
4. 利用影像谱分析原理说明由粗到精的影像匹配策略的有哪些优点? (10 分)
5. 线性阵列扫描影像在利用反解法制作正射影像时会存在什么问题? 并指出目前解决这类问题的一种方法,简要说明其原理。(10)

四. 综合题 (30 分)

1. 结合课间编程实习内容,请叙述基于特征点采用相关系数进行同名点提取的算法流程,结合具体数据说明选择不同的计算窗口对寻找同名点数量和质量的影响,并分析原因。(15 分)
2. 分析最小二乘法影像匹配和跨接法影像匹配这两种方法的特点,并指出它们的区别与联系。(15 分)

出卷人	潘励
教研室 负责人 审核签字	年 月 日
共 1 页	第 1 页

武汉大学 2008—2009 学年下学期

《数字摄影测量》试卷 (A) 评分标准

一、判断题：(请判断下列概念或说法是否正确，对的在题后括号内打“√”，错的打“×”，每小题 1 分，共 10 分)

答：1、√；2、×；3、×；4、√；5、×；6、×；7、√；8、×；9、×；10、√；

二、单项选择题：(从下列各题备选答案中选出一个正确答案，将其代号写在答题纸上。每小题 1 分，共 10 分)

答：1、D；2、B；3、A；4、C；5、B；6、C；7、B；8、C；9、B；10 A；

三. 简答题(50 分)

1. 简述真实景观图的制作原理。(10 分)

答：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），但此时的灰度值（或彩色）并不是由模拟计算得到的明暗度，而是取自对实地所摄影像的真实灰度值。

1. 由 DEM 与原始影像制作景观图

- (1) 将每一 DEM 格网划分为 $m \times n$ 个地面元，原则依然是使景观图上像素之间无缝隙并尽可能地大；
- (2) 依次计算各地面元在景观图上的像素行列号 (I_1, J_1)；
- (3) 进行消隐处理；
- (4) 由地面元计算其对应的原始影像像素行列号 (I_p, J_p)；
- (5) 由双线性内插计算 (I_p, J_p) 的灰度 $g_p(I_p, J_p)$ ；
- (6) 将原始影像灰度 g_p 赋予景观图像素 (I_1, J_1)

$$g_1(I_1, J_1) = g_p(I_p, J_p)$$

以上过程实际上是将透视图的绘制与正射影像图的制作结合起来进行的过程。

2. 由 DEM 与正射影像制作景观图

如果已经有了正射影像图，则不需利用原始影像，而可以直接利用正射影像制作景观图，这样可以大大地节省计算工作量。其处理过程的前 (1)(2)(3) 步与利用原始影像时完全相同，所不同的步骤为：

- (1) 由地面元计算其对应的正射影像像素行列号，此时是简单的平移与缩放，而不需利用共线方程来计算；
- (2) 将正射影像相应像素的灰度值 g_0 取出赋予景观图像素 (I_1, J_1)

2. 简述基于不规则三角网绘制等高线的方法和过程。(10 分)

答：同一高程的等高线只穿过一个三角形最多一次，因而程序设计较简单。但是，由于 TIN 的存储结构不同，因而等高线的跟踪也有所不同。

1) 基于三角形搜索的等高线绘制

对于记录了三角形表的 TIN，按记录的三角形顺序搜索。其基本过程如下：

(1) 对给定的等高线高程 z ，与所有网点高程 Z_i ，($i=1, 2, \dots, n$) 进行比较，若 $Z_i=z$ ；则将 Z_i 加上（或减）一个微小正数 $\varepsilon > 0$ (如 $\varepsilon = 10^{-4}$)，以使程序设计简单而又不影响等高线的精度。

(2) 设立三角形标志数组，其初始值为零，每一元素与一个三角形对应，凡处理过的三角形将标志置为 1，以后不再处理，直至等高线高程改变。

(3) 按顺序判断每一个三角形的三边中的两条边是否有等高线穿过。

(4) 搜索该等高线在该三角形的离去边，也是相邻三角形的进入边，并内插其平面坐标。搜索与内插方法与上面的搜索起点相同，不同的只是仅对该三角形的另两边作处理。

(5) 进入相邻三角形，重复第 (4) 步，直至离去边没有相邻三角形（此时等高线为开曲线）或相邻三角形即搜索起点所在的三角形（此时等高线为闭曲线）时为止。

2) 基于格网点搜索的等高线绘制

对于仅记录了网点邻接关系的 TIN，只能按参考点的顺序，逐条格网边进行搜索。

(1) 由于网点邻接关系中对每条格网边描述了两次，为了避免重复搜索，建立一个与邻接关系对应的标志数组，初值为零。每当一个边被处理后，与该边对应的标志数组两个单元均置 1。则以后检测两个单元中的任意一个，均知道该边已处理过而不再重复处理。设标志数组为 Flag ()，

(2) 按格网点的顺序进行搜索。

(3) 对每一格网点，按所记录的与该点形成格网边的另一端点的顺序搜索，直至搜索到第一个有等高线穿过的边的端点 Q_i ，并内插该等高线点坐标。

(4) 搜索以 Q_i 为端点的该格网边的相邻边，若有等高线通过，内插该点平面坐标。

3. 在某个连续光滑的区域内有 N 个分布不规则的数据点，请叙述如何利用多面函数高

程模型内插的方法内插规则矩形网点的高程，请给出算法过程。(10 分)

答：多面函数 (MQ) 法内插（或称多面函数最小二乘推估法）是从几何观点出发，解决根据数据点形成一个平差的数学曲面问题。其理论根据是：“任何一个圆滑的数学表面总是可以用一系列有规则的数学表面的总和，以任意的精度进行逼近。”

M 个数据点可列出误差方程，其中 $m < N$

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1} & q_{m2} & \cdots & q_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_m \end{pmatrix}$$

或

$$V = Qa - Z$$

法化求解得

$$a = (Q^T Q)^{-1} Q^T Z$$

任意一点 $P_k (X_k, Y_k)$ 上的高程 $Z_k (K > n)$ 为

$$Z_k = Q_k^T \cdot a = Q_k^T (Q^T Q)^{-1} Q^T Z$$

若将全部数据点取为核函数的中心，即 $m=n$ ，则

$$a = Q^{-1} Z$$

$$Z_K = Q_K^T Q^{-1} Z$$

展开得

$$Z_K = [q_{k1} q_{k2} \cdots q_{kn}] \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1} & q_{m2} & \cdots & q_{mn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_n \end{pmatrix}$$

按照上述两种方案可以解求区域中每个格网点上的高程坐标，从而建立数字高程模型。

4. 利用影像谱分析原理说明由粗到精的影像匹配策略的有哪些优点？（10 分）

答：通过相关函数的谱分析可知，当信号中高频成分较少时，相关函数曲线较平缓，但相关的拉入范围较大；反之，当高频成分较多时，相关函数曲线较陡，相关精度较高，但相关拉入范围较小。此外，当信号中存在高频窄带随机噪声或信号中存在较强的高频信号时，相关函数出现多峰值，因此会出现错误匹配。综合考虑相关结果的正确性（或称为可靠性）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，然后利用高频信息进行精确相关。通常，先对原始信号进行低通滤波，进行粗相关，将其结果作为预测值，逐渐加入较高的频率成分，在逐渐变小的搜索区中进行相关，最后用原始信号，以得到最好的精度。由粗到精的相关策略可以提高影像匹配的可靠性以及速度。

5. 线性阵列扫描影像在利用反解法制作正射影像时会存在什么问题？并指出目前解决这类问题的一种方法，简要说明其原理。（10）

答：由若干条线性阵列扫描影像可以构成像幅。例如法国的 SPOT 卫星影像，它由 6000 条扫描线组成一幅影像，影像坐标系的原点设在每幅影像的中央，即第 3000 条扫描线的第 3000 个像元上。第 3000 条扫描线可作为影像坐标系的 x 轴，则各扫描线上第 3000 个像元的连线就是 y 轴，在时刻 t 的构像方程为：

$$\begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \begin{bmatrix} a_1(t) & b_1(t) & c_1(t) \\ a_2(t) & b_2(t) & c_2(t) \\ a_3(t) & b_3(t) & c_3(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_s(t) \\ Y - Y_s(t) \\ Z - Z_s(t) \end{bmatrix}$$

（ t ）表明各参数是随时间而变化的。

根据反解法制作正射影像的特点，首先要确定每个像素的外方位元素，才能建立像素与其对应的物方点的空间关系。但是针对线性阵列扫描影像在像素位置没有确定的情况下无法知道其外方位元素，因此利用反解法纠正线性阵列扫描影像时需要迭代。为了解决这个问题有人提出直接法与间接法相结合的纠正方案。

对于线性阵列传感器影像的纠正，由于利用间接法也需要迭代求解，而直接法本来就需要迭代求解，因而可以将两种方法结合起来。首先在影像上确定一个规则格网，其所有格网点的行、列坐

标显然是已知的，其间隔按像元的地面分辨率化算后与数字高程模型 DEM 的间隔一致，用直接法解算它们的地面坐标。这些点在地面上是一个非规则网点，由它们内插出地面规则格网点所对应的影像坐标，再按间接法进行纠正。

四. 综合题（30 分）

1. 结合课间编程实习内容，请叙述基于特征点采用相关系数进行同名点提取的算法流程，结合具体数据说明选择不同的计算窗口对寻找同名点数量和质量的影响，并分析原因。（15 分）

评分标准：

不仅要用简单的语言解释基于特征点采用相关系数进行影像匹配的过程，而且要给出主要得数学模型，可以画图说明。此外，要说明计算窗口大小对寻找同名点的影响，并能够用准确的数据说明问题。数学模型正确，分析结果准确，可以得满分；基本正确，有不够准确的地方，扣 1-8 分；完全不对扣 15 分；其他扣分视具体内容准确程度而定。

2. 分析最小二乘法影像匹配和跨接法影像匹配这两种方法的特点，并指出它们的区别与联系。（15 分）

评分标准：

不仅要用简单的语言解释两种影像匹配算法的原理，而且能够准确地分析两种算法的特点。原理正确，分析算法特点准确，可以得满分；基本正确，有不够准确的地方，扣 1-8 分；完全不对扣 15 分；其他扣分视具体内容准确程度而定。

武汉大学2009~2010学年上学期

《摄影测量基础》试卷

学号： 姓名： 院系：遥感信息工程 专业：遥感科学与技术 得分：

一、 填空 (20分， 每空1分)

1. 摄影测量常用的像方坐标系有三种类型，分别是_____、
_____和_____。
2. 解析相对定向依据的数学方程是_____。相对定向完成的标志是_____，最少需要_____对_____点。
3. 解析绝对定向至少需要_____个平高控制点和_____个高程控制点。
4. 可靠性矩阵_____是降秩矩阵，其秩等于_____。
5. 航摄像片是地面景物的_____投影。由于_____和_____两个主要原因导致影像上几何图形与实际地面上的几何图形通常是不相似的。
6. POS系统可用于直接测定动态目标的位置和姿态。若将POS数据用于直接传感器定位，除需测定GPS天线相位中心与相机投影中心三个偏心分量外，还必须对IMU与相机坐标轴之间的_____误差进行校正。
7. 空间直角坐标变换的正交变换矩阵中只有_____个独立元素。
8. 摄影测量加密按数学模型可分为_____、_____和
_____三种类型。
9. 带模型连接条件的连续法相对定向元素有6个。分别为_____。

二、 名词解释 (15分， 每题3分)

1. 外部可靠性
2. POS辅助空中三角测量
3. 人造立体视觉
4. 主合点
5. 改化法方程

三、 简答题 (45分， 每题15分)

- 1. 理想情况下，摄影测量中摄影中心点、像点与其对应物点三点应满足共线条件方程。推导共线条件方程，并简要叙述其在摄影测量中的主要用途。
- 2. 对单个立体像对进行目标定位可采用哪几种方法？简述其计算过程，并比较各自的优缺点。
- 3. 像片外方位元素有何作用？画图示意以 X 轴为主轴的航摄像片的外方位元素。

四、 综合题 (20分， ①②题各5分， ③题10分)

设某区域由三条航线组成（如图1(a)所示），试根据光束法区域网平差原理回答下列问题：

- ① 当控制点有误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；
- ② 按最小带宽原则在图1(a)中标出像片排列顺序号并求出带宽；
- ③ 在图1(b)中绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。

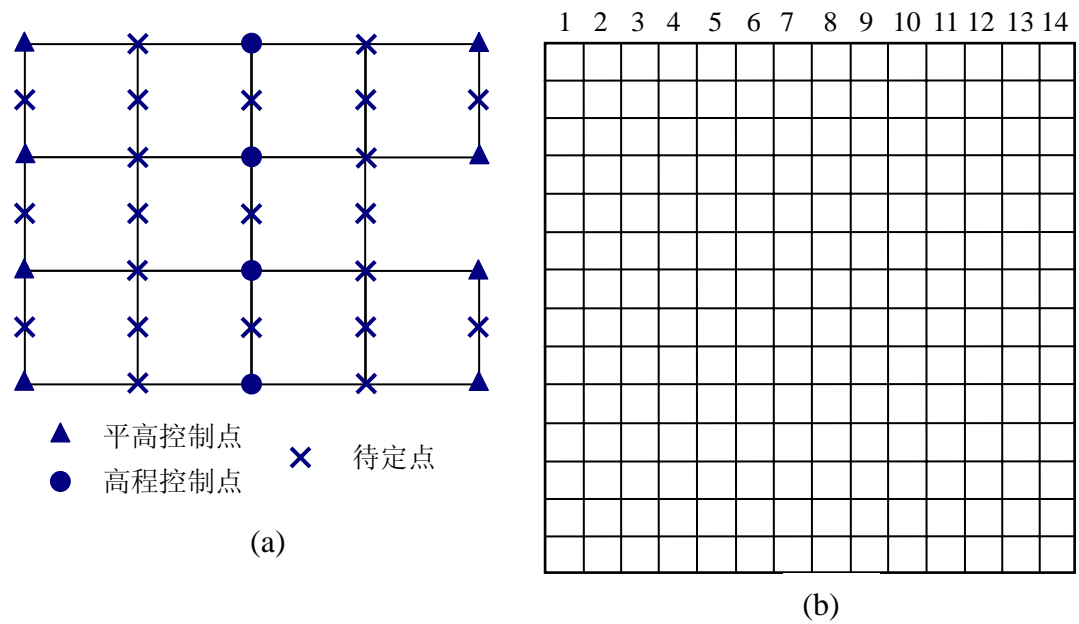


图 1

出卷人	袁修孝，赵双明，季顺平
教研室 负责人 审核签字	2009 年 12 月 23 日
共 2 页 第 2 页	

武汉大学2009~2010学年上学期

《摄影测量基础》试卷

学号： 姓名： 院系：遥感信息工程 专业：遥感科学与技术 得分：

一、 填空 (20分， 每空1分)

1. 摄影测量常用的像方坐标系有三种类型， 分别是 像平面坐标系、像空间坐标系 和 像空间辅助坐标系。
2. 解析相对定向依据的数学方程是 共面条件方程。相对定向完成的标志是 上下视差为0， 最少需要 5 对 同名 点。
3. 解析绝对定向至少需要 2 个平高控制点和 1 个高程控制点。
4. 可靠性矩阵 $Q_{vv}P$ 是降秩矩阵， 其秩等于 平差系统的多余观测数。
5. 航摄像片是地面景物的 中心 投影。由于 像片倾斜 和 地面起伏 两个主要原因导致影像上几何图形与实际地面上的几何图形通常是不相似的。
6. POS系统可用于直接测定动态目标的位置和姿态。若将POS数据用于直接传感器定位， 除需测定GPS天线相位中心与相机投影中心三个偏心分量外， 还必须对IMU与相机坐标轴之间的 视准轴 误差进行校正。
7. 空间直角坐标变换的正交变换矩阵中只有 3 个独立元素。
8. 摄影测量加密按数学模型可分为 航带法、独立模型法 和 光束法 三种类型。
9. 带模型连接条件的连续法相对定向元素有6个。分别为 $u, v, \varphi, \omega, \kappa, \lambda$ 。

二、 名词解释 (15分， 每题3分)

1. 外部可靠性：一定假设条件下，平差系统不能发现的模型误差对平差结果的影响。
2. POS辅助空中三角测量：将POS系统所获取的六个外方位元素作为带权观测值，和像点坐标观测值一并进行光束法区域网联合平差，同时解求加密点坐标和精确外方位元素，并对其质量进行评定的理论和方法。

3. 人造立体视觉：人眼观察立体像对获得立体视觉的效应。人造立体视觉需要满足4个条件：在不同摄站获取具有一定重叠度的两张影像；一只眼眼睛只能看一张像片；两张像片上同名点的连线大致与眼基线平行；两张像片的摄影比例尺相差不大，一般不超过15%。
4. 主合点：地面上一组平行于摄影方向线的光束在像片上的构像。（或过摄影中心的真水平面与主纵线的交点。）
5. 改化法方程：采用矩阵运算消去法方程中的一类或几类未知数，而只保留某一类未知数的法方程。

三、简答题 (45分，每题15分)

1. 理想情况下，摄影测量中摄影中心点、像点与其对应物点三点应满足共线条件方程。推导共线条件方程，并简要叙述其在摄影测量中的主要用途。

答：设摄影中心 S 在某一规定的物方空间右手直角坐标系中的坐标为 X_S, Y_S, Z_S ，任一地面点 A 在该物方空间坐标系中的坐标为 X_A, Y_A, Z_A ， A 在像片上的构像 a 在像空间坐标和像空间辅助坐标分别为 x, y, f 和 X, Y, Z ，摄影时 S 、 a 、 A 三点共线且满足如下关系：

$$\frac{X}{X_A - X_S} = \frac{Y}{Y_A - Y_S} = \frac{Z}{Z_A - Z_S} = \lambda \quad (1)$$

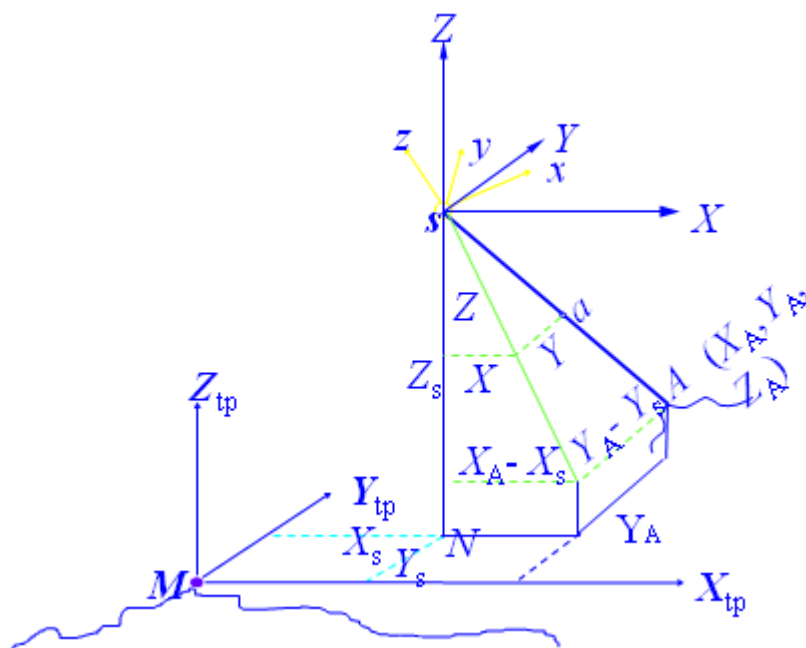
即：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} X_A - X_S \\ Y_A - Y_S \\ Z_A - Z_S \end{bmatrix} \quad (2)$$

又像空间坐标和像空间辅助坐标满足：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ f \end{bmatrix} = R^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中，



$$R = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \text{表示由外方位角元素组成的旋转矩阵。}$$

将（3）式中的第一行和第二行分别除以第三行，得到：

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X_A - X_S) + b_1(Y_A - Y_S) - c_1(Z_A - Z_S)}{a_3(X_A - X_S) + b_3(Y_A - Y_S) - c_3(Z_A - Z_S)} \\ y &= -f \frac{a_2(X_A - X_S) + b_2(Y_A - Y_S) - c_2(Z_A - Z_S)}{a_3(X_A - X_S) + b_3(Y_A - Y_S) - c_3(Z_A - Z_S)} \end{aligned} \quad (4)$$

(4)式就表示了摄影中心点、像点与其对应物点三点位于一条直线上的共线条件方程。

共线方程在摄影测量中的主要应用包括：

空间后方交会和多片前方交会；

光束法平差的基本方程；

求像底点坐标；

构成数字投影的基础；

利用DEM和共线方程制作正射影像；

利用DEM和共线条件方程进行单张影像测图。

2. 对单个立体像对进行目标定位可采用哪几种方法？简述其计算过程，并比较各自的优缺点。

答：方法包括：后方交会-前方交会方法；相对定向-绝对定向法；一步定向法。

后方交会-前方交会法主要步骤：

首先进行后方交会，利用单张影像上3个以上已知控制点分别计算像片外方位元素，再通过前方交会计算出地面目标的物方坐标。

该方法的缺点在于每张影像上都必须有3个以上控制点，并且前方交会求取的地面点坐标的精度取决于后方交会所解算外方位元素的精度。

相对定向-绝对定向法主要步骤：

首先利用两张影像重叠区内5对以上同名点，按照共面条件方程解算相对定向元素，并计算同名点模型坐标，同时要求至少2个平高点1个高程点位于像片重叠区内以计算控制点模型坐标。然后利用控制点模型坐标和对应地面坐标根据三维相似变换方程解算出绝对定向元素。最后根据绝对定向元素求取目标的物方坐标。

该方法的缺点在于需要已知重叠区内最少5对同名点。同样地，绝对定向的精度取决于相对定向精度。

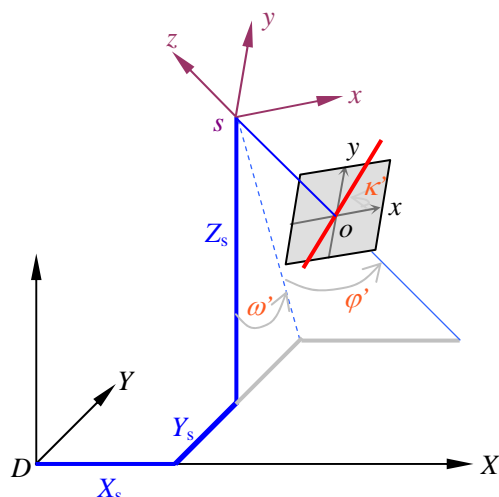
一步定向法主要步骤：

利用已有控制点地面坐标、像片上对应像点坐标，根据共线条件方程一步解算出像片外方位元素和目标的地面坐标。

该方法一步完成，精度完全由控制点和像点坐标量测精度决定，理论上比以上两种方法精度高。但该方法相较以上两种方法，求解过程较复杂。

3. 像片外方位元素有何作用？画图示意以 X 轴为主轴的航摄像片的外方位元素。

答：以 x 轴为主轴的 6 个外方位元素如下图所示。其中， $D-XYZ$ 为地面摄影测量坐标系 $s-xyz$ 为像空间坐标系； $o-xy$ 为像平面坐标系。 X_s, Y_s, Z_s 为像片外方位线元素， ω' 为旁向倾角， φ' 为航向倾角， κ' 为像片旋转角。



外方位元素的作用在于恢复摄影时刻像片在物方坐标系中的位置和姿态。

四、综合题 (20分，①②题各5分，③题10分)

设某区域由三条航线组成（如图1(a)所示），试根据光束法区域网平差原理回答下列问题：

① 当控制点有误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；

像片观测值个数： $(6 \times 6 + 8 \times 9) \times 2 = 216$ ；

由于控制点有误差，控制点地面坐标亦作为观测值，个数为：

$8 \times 3 + 4 \times 1 = 28$ ；故观测值总数为244。

故多余观测数为： $244-158=86$ 。

若按航线方向编排像片，则带宽为： $(5+3) \times 6=48$;

若按垂直航线方向编排像片，带宽为： $(2 \times 3 + 2) \times 6 = 48$;

两种情况下最小带宽相同，这里按航向编号。

③ 在图1(b)中绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。



出卷人	袁修孝, 赵双明, 季顺平
教研室 负责人 审核签字	2009 年 12 月 23 日
共 2 页 第 2 页	

武汉大学 2009—2010 学年下学期

《数字摄影测量》试卷（A）

学号： 姓名： 院系： 专业： 得分

一、判断题：（请判断下列概念或说法是否正确，对的在题后括号内打“√”，错的打“×”，共 10 题，每小题 1 分，共 10 分）

- 1、当采样间隔能使在函数 $g(x)$ 中存在的最高频率中每周期取有一个样本时，则根据采样数据可以完全恢复原函数 $g(x)$ 。（ ）
- 2、数码航空影像具有分辨率高、重叠度大、摄影基线短、交会角小和高程精度高等特点。（ ）
- 3、多点最小二乘匹配是将有限元内插与最小二乘匹配相结合，直接解求规则分布格网上的视差的整体影像匹配方法。（ ）
- 4、单像修测主要依靠已有的控制点或者控制线信息进行地物的增减。（ ）
- 5、Harris 角点提取算法是通过判断灰度误差椭圆的长轴和短轴的关系来确定特征点。（ ）
- 6、影响数字高程模型精度主要是地形的复杂程度和高程内插的方法的选择。（ ）
- 7、仅考虑辐射的线性畸变的最小二乘法匹配等同于相关函数法影像匹配。（ ）
- 8、跨接法影像匹配算法选择大小可以根据需要动态变化的中心结构的影像窗口。（ ）
- 9、属性码表是根据光标在屏幕上的位置，检索出光标所指物体（或点、线）的序号。（ ）
- 10、所有图形必须绘在某一窗口之内，而不应超出窗口之外，称为窗内剪裁。（ ）

二、填空（共 10 小题，每小题 1 分，共 10 分）

- 1、Forstner 定位算子对角点定位分_____与_____两步。
- 2、数字摄影测量的基本范畴还是确定被摄对象的_____与_____，即量测与理解。
- 3、有理函数模型是将_____表示为以相应_____为自变量的多项式的比值。
- 4、正射影像的精度检查主要是指_____检查，正射影像的影像质量主要是指_____。
- 5、DEM 数据压缩的方法很多，常用的方法有_____、_____以及压缩编码。
- 6、立体透视图的制作主要分为_____和_____两大部分。
- 7、三角网数字高程模型的存储方式有三种：直接表示网点邻接关系的结构、_____和_____。
- 8、“深度优先”。对最上一层_____提取到一个特征点，即对其_____。然后将结果化

算到下一层影像进行匹配，直至原始影像。

9、根据有关的参数与数字地面模型，利用相应的_____，或按一定的数学模型用控制点解算，从原始非正射投影的数字影像获取_____，这种过程是将影像化为很多微小的区域逐一进行，且使用的是数字方式处理，故叫做数字微分纠正或数字纠正。

10、_____和_____共同称为立体正射影像对。

三、简答题(共 5 题，每题 10 分，共计 50 分)

- 1、什么是同名核线？，简述一种确定同名核线的方法。(10 分)
- 2、简述最小二乘影像匹配的原理以及流程。(10 分)
- 3、在某个连续光滑的区域内有 N 个分布不规则的数据点，请叙述如何利用有限元高程模型内插的方法内插规则矩形网点的高程，并说明如果有地形特征线如何处理。(10 分)
- 4、什么是真正射影像？制作真正射影像需要解决那些关键问题？(10 分)
- 5、简述铅垂线轨迹法（VLL）影像匹配方法的原理，并与相关系数法进行比较，说明两者的异同点。(10 分)

四. 综合题（共两题，每题 15 分，共计 30 分）

1. 结合课间编程实习内容，请叙述基于特征点采用相关系数进行同名点提取的方案和算法流程，结合具体数据说明采用最小二乘法影像匹配能够提高影像匹配的精度，并说明原因。(15 分)
2. 线性阵列扫描影像在制作正射影像时会存在什么问题？并指出目前解决这类问题的一种方法，简要说明其原理。(15 分)

出卷人	潘励
教研室 负责人 审核签字	年 月 日
共 2 页	第 2 页

武汉大学 2009—2010 学年下学期

《数字摄影测量》试卷（A）评分标准

一、判断题：（请判断下列概念或说法是否正确，对的在题后括号内打“√”，错的打“×”，每小题 1 分，共 10 分）

答：1、×；2、×；3、√；4、×；5、×；6、×；7、×；8、×；9、×；10、×；

二、填空（共 10 小题，每小题 1 分，共 10 分）

答：1、最佳窗口的选择、特征点的定位；2、几何位置、物理含义；3、像点坐标、相应的物方点的坐标；4、几何精度、辐射信息；5、整型化压缩、差分映射；6、透视变化、消隐处理；7、表示三角形以及三角形拓扑关系、表示网点坐标和三角形信息；8、影像、影像匹配；9、构像方程、正射影像；10 正射影像、立体匹配片；

三、简答题(共 5 题，每题 10 分，共计 50 分)

- 1、什么是同名核线？，简述一种确定同名核线的方法。（10 分）
- 2、简述最小二乘影像匹配的原理以及流程。（10 分）
- 3、在某个连续光滑的区域内有 N 个分布不规则的数据点，请叙述如何利用有限元高程模型内插的方法内插规则矩形网点的高程，并说明如果有地形特征线如何处理。（10 分）
- 4、什么是真正射影像？制作真正射影像需要解决那些关键问题？（10 分）
- 5、简述铅垂线轨迹法（VLL）影像匹配方法的原理，并与相关系数法进行比较，说明两者的异同点。（10 分）

评分标准：

上述五道题不仅要用简单的语言解释相应的原理过程，而且要给出数学模型，可以画图说明。原理过程完整，数学模型正确，可以得满分；基本正确，有不够准确的地方，扣 1-5 分；完全不对扣 10 分；其他扣分视具体内容准确程度而定。

四. 综合题（共两题，每题 15 分，共计 30 分）

1. 结合课间编程实习内容，请叙述基于特征点采用相关系数进行同名点提取的方案和算法流程，结合具体数据说明采用最小二乘法影像匹配能够提高影像匹配的精度，并说明原因。（15 分）

评分标准：

不仅要用简单的语言解释基于特征点采用相关系数进行影像匹配的过程，而且要给出主要得数学模型，可以画图说明。此外，要说明计算窗口大小对寻找同名点的影响，并能够用准确的数据说明问题。数学模型正确，分析结果准确，可以得满分；基本正确，有不够准确的地方，扣 1-8 分；完全不对扣 15 分；其他扣分视具体内容准确程度而定。

2. 线性阵列扫描影像在制作正射影像时会存在什么问题？并指出目前解决这类问题的一种方法，简要说明其原理。（15 分）

评分标准：

不仅要用简单的语言解释两种影像匹配算法的原理，而且能够准确地分析两种算法的特点。原理正确，分析算法特点准确，可以得满分；基本正确，有不够准确的地方，扣 1-8 分；完全不对扣 15 分；其他扣分视具体内容准确程度而定。

武汉大学 2010—2011 学年上学期

《摄影测量基础》试卷（B）

学号： 姓名： 院系： 遥感信息工程 专业： 遥感科学与技术 得分

一、填空（10 分，每空 1 分）

- 1、摄影测量常用的坐标系为_____。
- 2、粗差是人为等因素引起的_____,它具有_____性,但在数值上比偶然误差大得多。
- 3、习惯上称由_____的变换为正变换。
- 4、内部可靠性描述平差系统_____的能力。
- 5、双眼观察立体像对所构成的立体模型称为_____。
- 6、航带法区域网平差的观测值为_____,平差单元为_____;
光束法区域网平差的观测值为_____,平差单元为_____。

二、名词解释（20分，每题5分）

- 1、绝对定向
- 2、空间前方交会
- 3、POS 辅助空中三角测量
- 4、改化法方程

三、简答题（40分，每题10分）

- 1、实际航空摄影时，获取的航摄像片不具有地形图的特征，简要叙述其原因。
- 2、试述航带法和光束法空中三角测量的基本思想。
- 3、外方位元素是描述影像的重要参数之一，请列举其获取方法。
- 4、什么是透视变换？试画出物面上一点（A）在像面上的成像（a），并写出表达物点与像点共线的方程。

四、综合题（20分，每题15分）

- 1、假如一个立体像对上有 3 个待求点（如图 1 中所示），试述可用哪些方法解算待求点的三维空间坐标。请简要叙述具体方案和解算步骤。

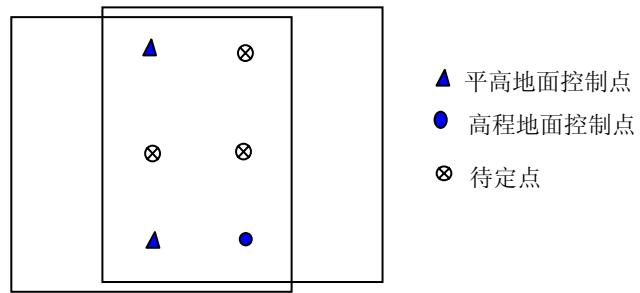


图 1

2、设某区域覆盖有 3 条航线 13 张像片（图 2），当采用光束法区域网平差时

- ① 控制点无误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；
- ② 按最小带宽原则在图 2 中标出像片排列顺序号并求出带宽；
- ③ 绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。

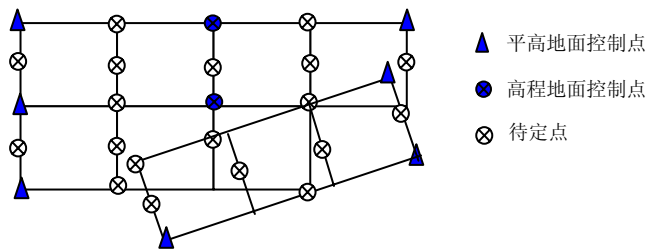


图 2

出卷人	袁修孝，赵双明，刘亚文
教研室 负责人 审核签字	2010 年 12 月 15 日
共 2 页 第 2 页	

武汉大学 2010—2011 学年上学期

《摄影测量基础》试卷（B）-参考答案

学号： 姓名： 院系： 遥感信息工程 专业： 遥感科学与技术 得分

一、填空（10 分，每空 1 分）

- 1、摄影测量常用的坐标系为 像平面直角坐标系、像空间直角坐标系、像空间辅助坐标系、地面摄影测量坐标系、地面测量坐标系。
- 2、粗差是人为等因素引起的 误差，它具有偶然性，但在数值上比偶然误差大得多。
- 3、习惯上称由 大地测量坐标系到地面摄影测量坐标系 的变换为正变换。
- 4、内部可靠性描述平差系统 平差系统可发现、区分不同模型误差的能力。
- 5、双眼观察立体像对所构成的立体模型称为 立体视模型。
- 6、航带法区域网平差的观测值为 重心化摄测坐标，平差单元为 航带模型；
光束法区域网平差的观测值为 像点坐标，平差单元为 单张像片。

二、名词解释（20分，每题5分）

1、绝对定向

将相对定向构建的立体模型经平移、缩放、旋转后纳入到地面坐标系中的过程。

绝对定向解算 7 个参数： λ ， X_0 ， Y_0 ， Z_0 ， ϕ ， Ω ， K 。

2、空间前方交会

已知立体像对中两张像片的内、外方位元素和像点坐标，确定相应地面点在物方空间坐标系中坐标的方法。

3、POS 辅助空中三角测量

将 **POS(GPS/IMU)**数据视为带权观测值引入摄影测量区域网平差，整体解算地面目标点坐标和像片方位元素，并对其质量进行评定的理论、技术和方法。

4、改化法方程

消除一类未知数后所得的法方程。

三、简答题（40分，每题10分）

1、实际航空摄影时，获取的航摄像片不具有地形图的特征，简要叙述其原因。

要点：

- 1) 地图有统一比例尺，航片无统一比例尺；
- 2) 地图为线划图、需要综合取舍，航片为影像图；
- 3) 地图属正射投影，地图上无方向偏差。
- 4) 航摄像片属中心投影成像，航片上有像点位移和方向偏差；

2、试述航带法和光束法空中三角测量的基本思想。

要点：

- 1) 将立体像对构成的单个模型连接成一个航带模型，将航带模型视为单元模型进行解析处理，通过消除航带模型中累积的系统误差，将航带模型整体纳入到测图坐标系中，从而确定加密点的地面坐标。
- 2) 以单张像片组成的光线束作为一个平差单元，以中心投影的共线方程作为平差的基础方程，通过各光线束在空间的旋转和平移，使模型之间的公共光线实现最佳交会，将整体区域最佳地纳入到控制点坐标系中，从而确定加密点的地面坐标及像片的外方位元素。

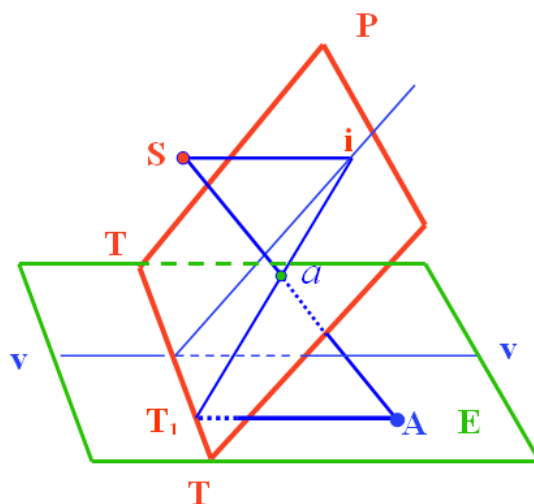
3、外方位元素是描述影像的重要参数之一，请列举其获取方法。

要点：

- 1) 空间后方交会；
 - 2) 光束法空中三角测量；
 - 3) POS(GPS/IMU)系统直接获取。
- 4、什么是透视变换？试画出物面上一点（A）在像面上的成像（a），并写出表达物点与像点共线的方程。

要点：

- 1) 将空间点、线作中心投影，在投影平面 P 上得到一一对应的点、线，这种经中心投影取得的一一对应投影关系称为透视变换。
- 2) 如下图示。
 - ① 找迹点 T_1 ；② 找主合点 i ；③ 连 $T_1 i$ 与 SA ，交点为 a 。



3) 共线方程

$$x = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \quad \text{或} \quad x = \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1}$$

$$y = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \quad \text{或} \quad y = \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1}$$

四、综合题（20分，每题15分）

- 1、假如一个立体像对上有 3 个待求点（如图 1 中所示），试述可用哪些方法解算待求点的三维空间坐标。请简要叙述具体方案和解算步骤。

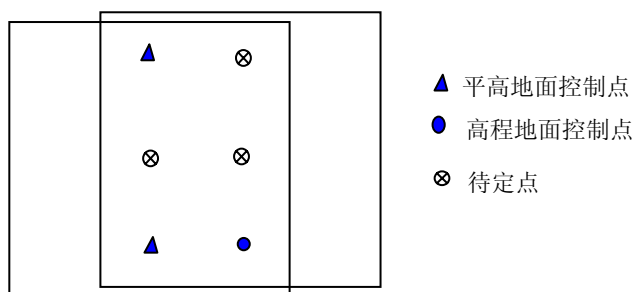


图 1

要点：

- 1) 空间后方交会-空间前方交会：由于空间后方交会至少需要 3 个平高控制点，通常采用 4 个平高控制点，按最小二乘平差方法解算单张像片 6 个外方位元素。故该方法不适合；
- 2) 相对定向-绝对定向：相对定向完成后，绝对定向通常采用 3 个平高控制点按最小二乘平差方法解算 7 个绝对定向元素。上述问题中，控制点数量不足以解决该绝对定向问题。故该方法不适合；
- 3) 光束法：上述问题中，2 个平高控制点和 1 个高程控制点可以确定平差的基准，多余观测个数 $r = (2 \times 6 \times 2) - (6 \times 2 + 3 \times 3) = 3 > 0$ ，故可用该方法解决上述问题。（解算步骤略）

2、设某区域覆盖有 3 条航线 13 张像片（图 2），当采用光束法区域网平差时

- ① 控制点无误差时，观测值个数 n 、未知数个数 t 、多余观测数 r ；
- ② 按最小带宽原则在图 2 中标出像片排列顺序号并求出带宽；
- ③ 绘出改化法方程系数矩阵结构图(保留像片外方位元素)。

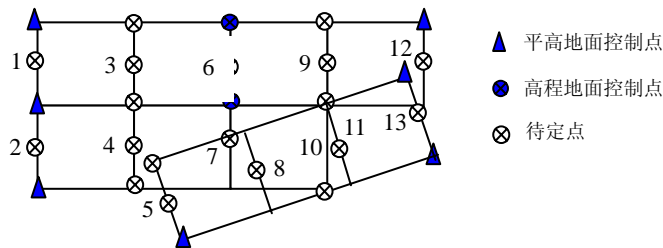


图 2

要点：

1) 观测值个数： $n = (2 \times 6 + 2 \times 9 \times 2 + 2 \times 10 + 2 \times 7) + (2 \times 6 + 2 \times 9 + 2 \times 9 + 2 \times 5) + (2 \times 5 + 2 \times 8 + 2 \times 7 + 2 \times 5) = 190$

未知数个数： $t = (6 \times 13 + 19 \times 3 + 2 \times 2) = 139$

多余观测数： $r = n - t = 190 - 139 = 51$

2) 按最小带宽原则，像片应按图(2)所示的垂直于航线方向排列；

带宽 $m = (2 \times 3 + 2) \times 6 = 48$

3) 详见图3中阴影部分

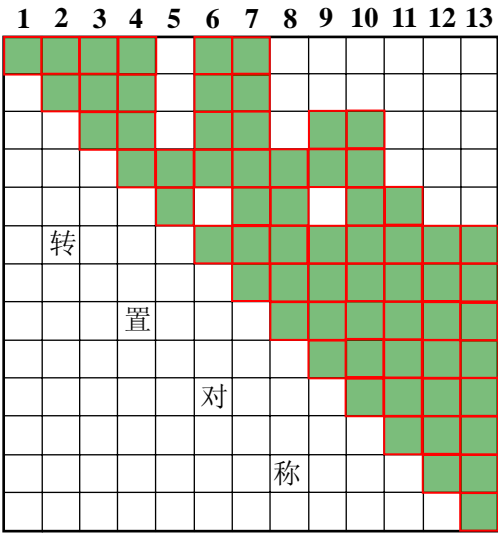


图 3