

HW: Relative Orientation (swing-swing method)

相對方位(雙像旋轉法) [共面式解法]

此作業成績權重 = 2

何謂「解析法相對方位 (Analytical Relative Orientation)」？

1. 「解析法相對方位」之定義

2. 觀測方程式

⇒ 未知數

⇒ 觀測值

3. 計算步驟

先備知識： 共面條件

Coplanarity Condition

「共面條件」的意義 = ?

「共面條件」的數學表達公式 = ?

「共面條件」的應用 = ?

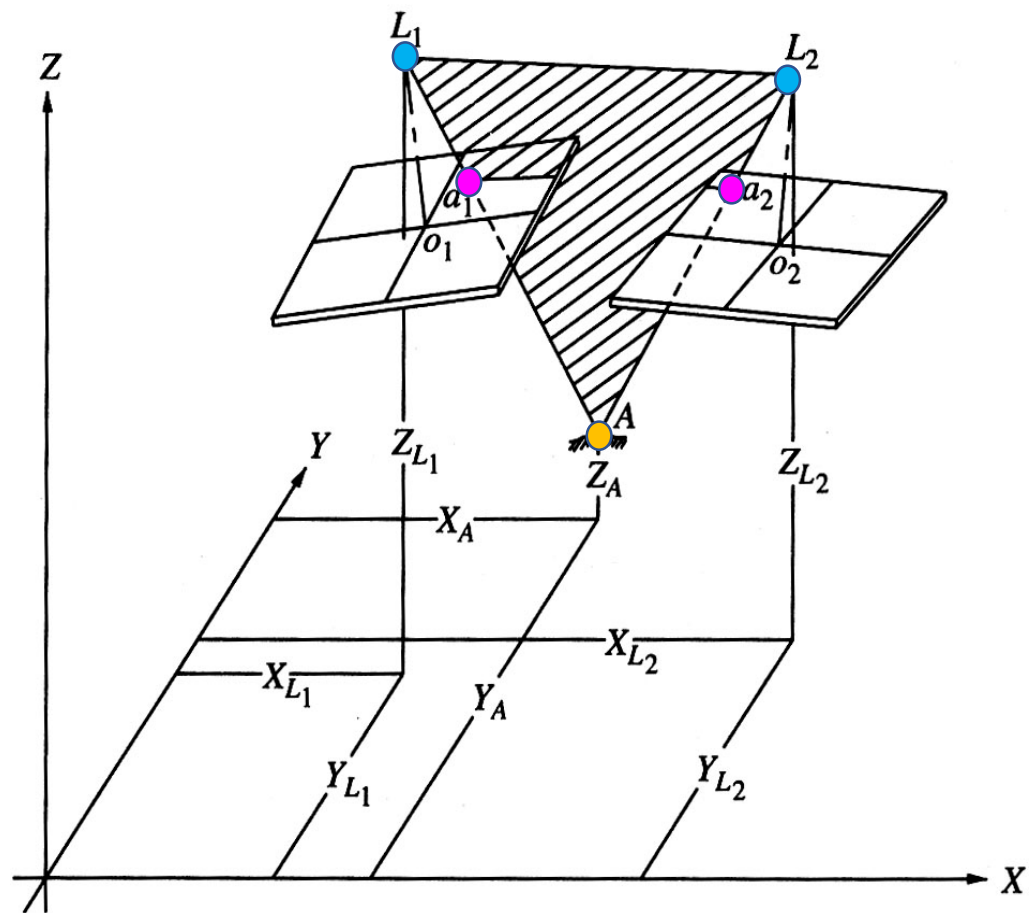
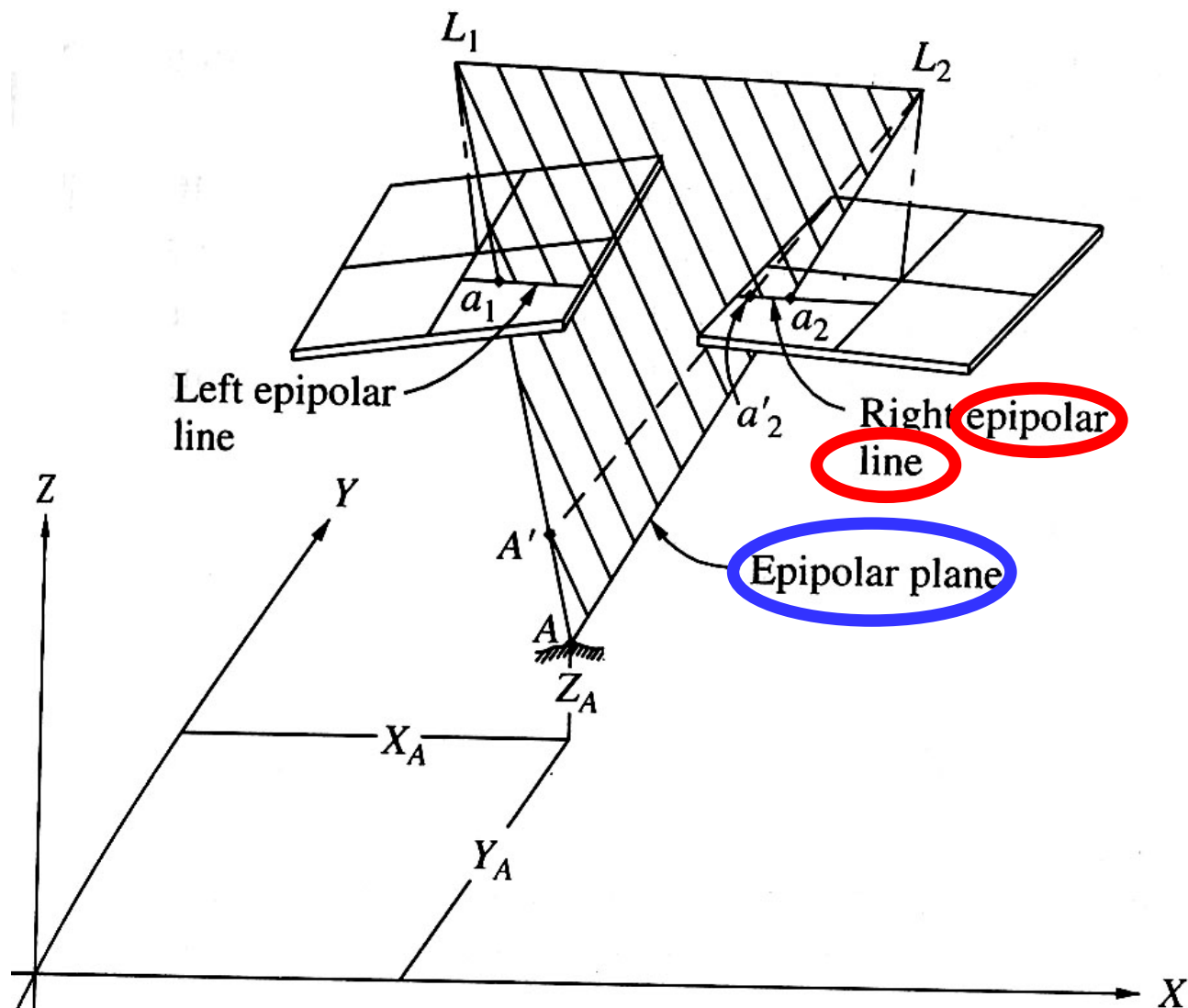


Figure 11-2 The coplanarity condition.

☞ **Coplanarity** is the condition that the **two exposure stations** of a **stereopair**, **any object point**, and **its corresponding image points** on the **two photos** **all lie in a common plane**.

Epipolar geometry of a stereopair of photos



epipolar line

核線

epipolar plane

核面

核極

epipole: *In the perspective setup of two photographs (two perspective projections), **the points on the planes of the photographs** where they are **cut by the air base** (extended line joining the two perspective centers). In the case of a pair of truly vertical photographs, the epipoles are infinitely distant from the principal points.*

核面

epipolar plane: *any plane which contains the epipoles; therefore, **any plane containing the air base**. Also called **basal plane**.*

核線

epipolar ray: *the **line on the plane of a photograph joining the epipole and the image of an object**. Also expressed as **the trace of an epipolar plane on a photograph**.*

(X, Y, Z): model coordinates
no unknowns of
ground coordinates !

Coplanarity Condition

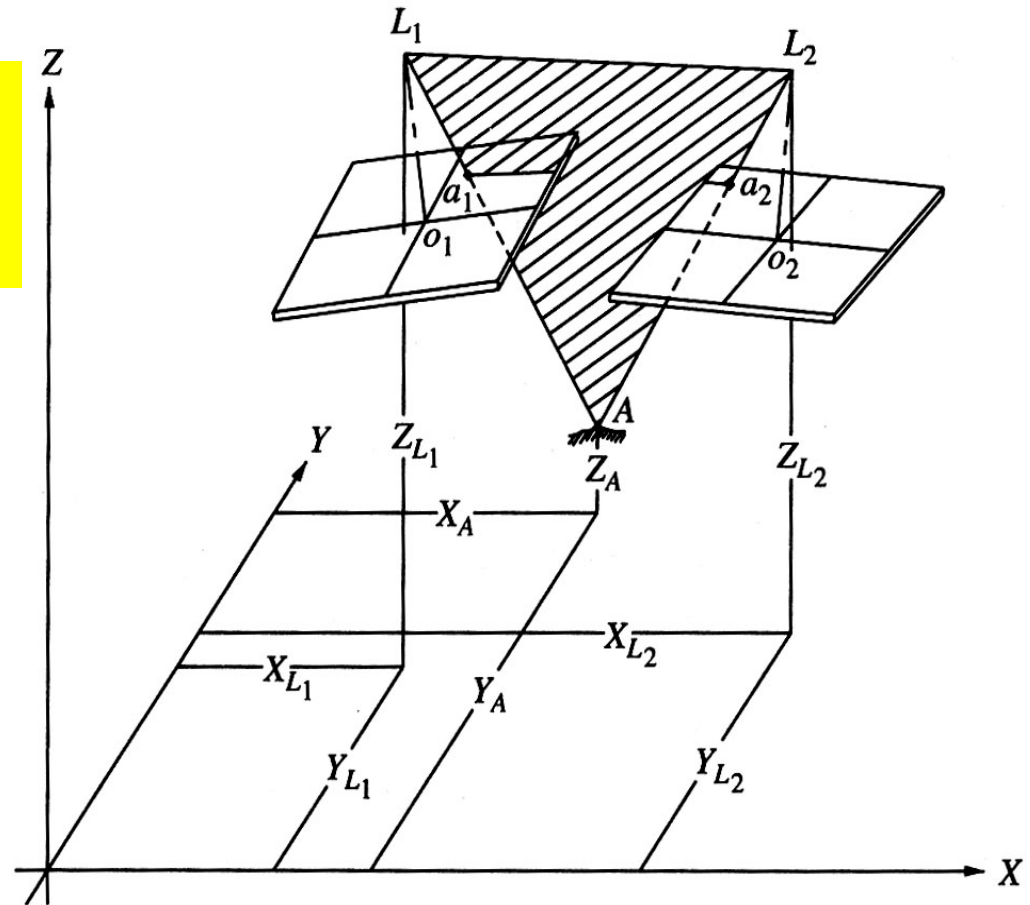
$$\overrightarrow{L_1 L_2} \cdot (\overrightarrow{L_1 a_1} \times \overrightarrow{L_2 a_2}) =$$

$$\begin{vmatrix} B_X & B_Y & B_Z \\ D_1 & E_1 & F_1 \\ D_2 & E_2 & F_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (11-5)$$

where

$$\begin{aligned} B_X &= X_{L_2} - X_{L_1} & D_i &= (m_{11})_i x_i + (m_{21})_i y_i - (m_{31})_i f \\ B_Y &= Y_{L_2} - Y_{L_1} & E_i &= (m_{12})_i x_i + (m_{22})_i y_i - (m_{32})_i f \quad i=1, 2 \\ B_Z &= Z_{L_2} - Z_{L_1} & F_i &= (m_{13})_i x_i + (m_{23})_i y_i - (m_{33})_i f \end{aligned}$$

☞ *meaning of symbols* B_X, B_Y, \dots : see TB, pp.617-618.



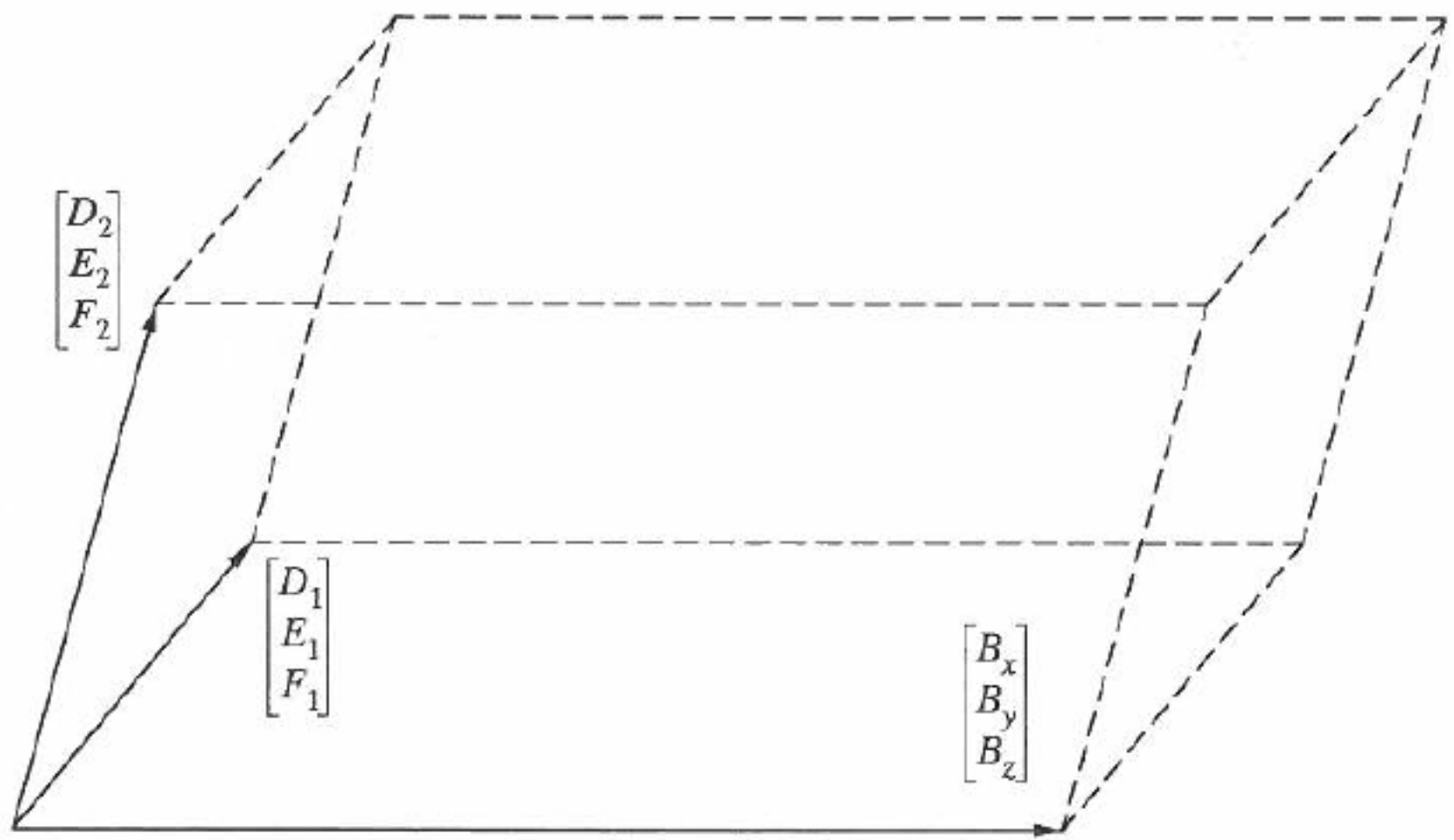


FIGURE D-4 Parallelepiped formed by three vectors used in the coplanarity condition equation.

Coplanarity Condition

- ➡ One coplanarity equation may be written for each object point whose images appear on both photos of the stereopair.
- ➡ The coplanarity equations do not contain 3D object space (or ground) coordinates as unknowns; rather, they contain only the elements of exterior orientation of the two photos of the stereopair in a local 3D model coordinate system.

Linearization of Coplanarity Eq.

- ☞ Like **collinearity equations**, the **coplanarity equation** is **nonlinear** and must be **linearized** by using Taylor's theorem and solved iteratively for corrections to approximations of the orientation parameters.
- ☞ **Linearization of the coplanarity equation** is described in Sec. D-8, **pp.618-620**.

1. 共面條件 \Rightarrow 相對方位

或

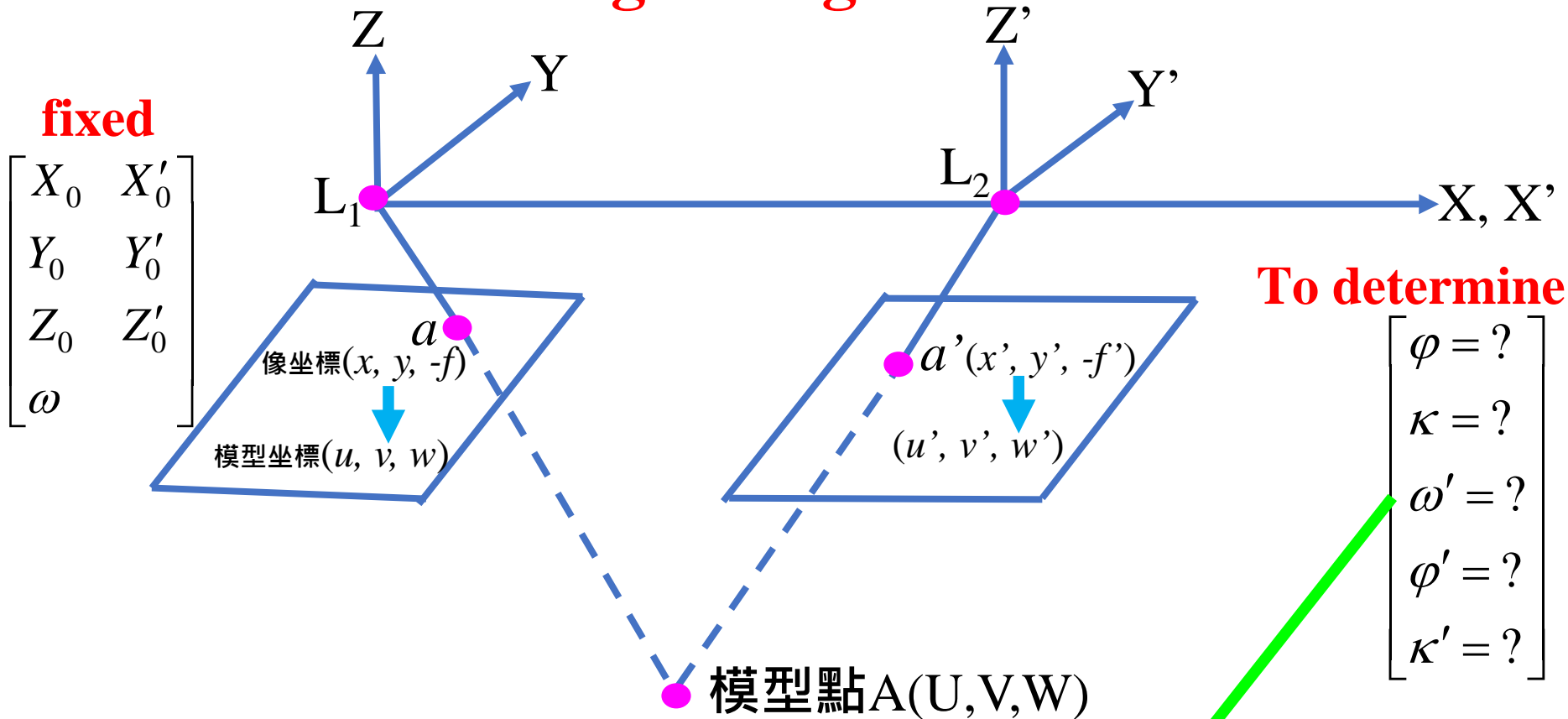
2. 共線條件 \Rightarrow 相對方位

此作業採 1. 共面條件

Analytical Relative Orientation

- ☞ **Analytical relative orientation** is the process of determining the “**relative**” angular attitude and positional displacement between the photographs that existed when the photos were taken.
- ⇒ This involves defining certain elements of exterior orientation and calculating the remaining ones.
- ⇒ The resulting exterior orientation parameters will **not** be the **actual values** that existed when the photographs were exposed; however, they will be correct in a “**relative sense**” between the photos.

Swing-Swing Method



選用Y軸為主軸的旋轉角系統，使得 $\omega=0$

左片 $x, y, -f$ $\xrightarrow{X_{L1}=0, Y_{L1}=0, Z_{L1}=0, \omega=0, \varphi, \kappa}$ u, v, w

右片 $x', y', -f'$ $\xrightarrow{X_{L2}=B, Y_{L2}=0, Z_{L2}=0, \omega', \varphi', \kappa'}$ u', v', w'

\therefore 相對方位元素為 $\varphi, \kappa, \omega', \varphi', \kappa' =$ 共五個

步驟1. 相機(VIRTUOZO CAMERA)率定參數檔 144116.txt 提供

(1) 焦距 $f = 152.818 \text{ mm}$ 、

(2) 像主點(principal point)像坐標率定值(x_0, y_0)

```
Camera serial number      = 144116
Camera type               = RMK TOP 15
Lens type                 = PLEOGON A3
Date of Calibration Report = 20.09.09
Principal distance        = 152.818 mm
Number of fiducial marks  = 8
Shape of fiducial marks   = DOT
(dot, cross arms, wedge)
```

Fiducial #	x(mm)	y(mm)
1	113.021	0.004
2	-112.988	0.005
3	0.011	113.015
4	0.012	-112.971
5	113.008	113.009
6	-112.986	-112.992
7	-112.990	113.003
8	113.018	-112.990

```
Principal point of autocollimation: 0.004 -0.006 mm
```

```
Point of best symmetry . 0.001 0.001 mm
```

```
Distortion information
```

```
Number of semi-diagonals = 1
```

```
Distortion informationb @ = 10 mm
```

Semi-diagonal	Orientation	Distortion values (1...16) microns								MEAN
		0.0	1.0	1.0	2.0	3.0	3.0	4.0	3.0	
		2.0	1.0	0.0	-1.0	-2.0	-2.0	-4.0	0.0	0.0

步驟2.像坐標量測值（片號、焦距、點號、(x,y)、code） **101678xy.txt**

Image 10167 =>

101678xy - 記事本

檔案(F)	編輯(E)	格式(O)	檢視(V)	說明
10167		152818.000	0	
16754028		-24159.802	-86334.391	0
7997982		-29511.560	-15122.372	0
7997877		-12200.509	-101489.930	0
16654101		-59831.032	-16924.822	0
⋮		⋮	⋮	

Image 10168 =>

7997851		41278.228	-39657.740	0
7997693		-95303.624	-14537.321	0
-99				
10168		152818.000	0	
16754028		-90398.246	-84024.652	0
7997982		-92396.974	-12833.292	0
7997975		30678.148	-57093.043	0
7997877		-78037.792	-99452.249	0
⋮		⋮	⋮	
7997851		-21400.911	-39793.678	0
7997849		95228.815	-61128.986	0
7997687		81931.130	-3037.232	0
-99				

上列的焦距和像坐標觀測值的度量衡單位: μm

步驟3. 使用TB第617頁公式(D-18)、(D-19)、(D-20)來了解每一個物點在立體像對上的同名像點對應的**共面條件式**(D-20)，**注意:此作業的(D-21)、(D-22)式只有5個未知數 $d\varphi \sim d\kappa'$** 再使用TB第618頁公式(D-21)建立其**線性化方程式**、使用TB第619~620頁公式(D-22)來計算其**觀測方程式**的每一個累加項的前乘係數(即:偏微分函數值)。

也就是說，

寫出觀測方程式的一般通式，含每一個偏微分係數的詳細公式。**這一個作業僅計算10167、101678這兩張立體像對影像的5個相對方位未知數($\varphi, \kappa, \omega', \varphi', \kappa'$)。**

步驟4. 寫出你給定5個未知數近似值的做法。[可參閱TB第279~284頁]

步驟5. 寫出你的(程式採用的)計算步驟。

步驟6. 寫出你如何準備/設計你的計算程式的輸入檔。

步驟7. 寫出你如何準備/設計你的計算程式的輸出檔。

步驟8. 寫出你如何給定你的計算收斂條件。

步驟9. 依據步驟5至步驟8來撰寫你的計算程式。

步驟10. 使用10167、10168的全部同名像點對
(corresponding image point pairs)來計算。

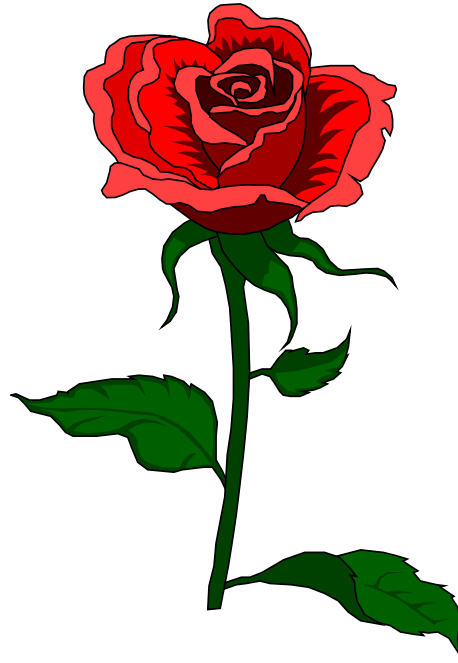
請對101678xy.txt提供的N個點對(point pairs)進行「雙像旋轉法相對方位計算」。

請撰寫雙像旋轉法相對方位計算的輸入資料、觀測方程式、計算步驟和公式、輸出資料、以及成果分析，並將你的「雙像旋轉法相對方位計算程式」做為附錄。

輸出資料包括: 1. N、n、u、df、 $\hat{\sigma}_0$ 、每一個觀測值及其改正數
2. 每一個未知數的最或是值及其後驗中誤差

注意: 1. 觀測值必須偵錯、剔錯，說明你如何決定偵錯門檻
2. 必須標示每一個數據的度量衡單位(除非它無單位)
3. 必須撰寫合宜的有效位數

否則 repeat。



萬一您無法自撰程式來進行雙像旋轉法相對方位計算，可使用我在2001年寫的ro.f程式，其輸入檔內容格式如下：

ro.dat資料內容和格式範例：

```
read(1,*) f
5 read(1,*,end=6,err=6) no,xl,yl,xr,yr
```

注意
右列數據不是這個作業的數據

					(焦距)
305.110					
6411412	5.494	100.244	95.571	90.108	(點號, xl,yl, xr,yr)
4812	1.971	-7.011	94.127	-16.946	(xl~yr:像坐標(mm))
99018	-4.818	-91.810	89.757	-102.579	
6411331	-95.208	-65.036	.051	-78.518	
99068	-92.287	6.242	.446	-7.193	
99077	-98.274	102.787	-7.264	88.080	
6411411	6.453	95.335	96.680	85.279	
99053	-4.264	-17.222	88.191	-27.415	
99503	-25.581	-89.515	70.613	-101.007	
6318211	-89.152	-43.588	4.799	-56.795	
99067	-61.095	-5.294	31.559	-17.546	
5972	-94.897	102.961	-3.932	88.395	

可用「記事本」來開啟ro.f、ro_dat.txt，瀏覽它們的內容。

在“命令提示字元”下，執行ro.exe:

```

C:\> 命令提示字元

D:\a>ro

=====
C
C
C      program for the course "photogrammetry exercise":
C      the topics: determination of relative orientation parameters.
C
C      program written by Jaan-Rong Tsay on 12 December 2001 in NCKU
C
C=====

Data format of the input file :
Focal length (mm)
Point number, xl(mm),yl(mm), xr(mm),yr(mm)
...

=====
> Input file name = ? (e.g. ro.dat)
ro_dat.txt
> Output file name = ? (e.g. ro.out)
ro_out.txt
> initial value of phie_L = ? deg. (e.g. 0.0)
0

```

```

> initial value of kapa_L = ? deg. (e.g. 0.0)
0
> initial value of omega_R = ? deg. (e.g. 0.0)
0
> initial value of phie_R = ? deg. (e.g. 0.0)
0
> initial value of kapa_R = ? deg. (e.g. 0.0)
0

> Threshold value adopted in convergence condition = ? (e.g. 0.00000001)
0.00000001

```

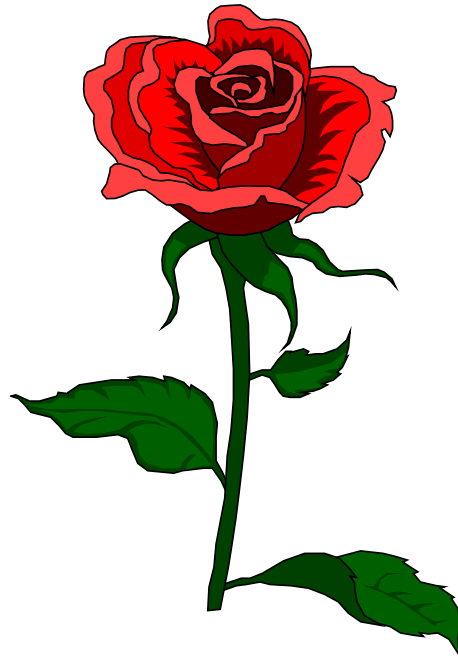
ITER	d_phie(L)	d_kapa(L)	d_omega(R)	d_phie(R)	d_kapa(R)
1	.021424420	.091942530	.016313880	.000149482	.054521750
2	-.007291448	.006924441	-.002327021	-.009844383	.007533898
3	-.000072906	.000071471	-.000027053	-.000045328	.000087602
4	.000000009	-.000000006	.000000001	.000000013	-.000000004
5	.000000000	.000000000	.000000000	.000000000	.000000000

```

> A reference baseline B = ? mm. (e.g. 40)
40
D:\a>_

```

此時，產生輸出檔ro.out。其內容請見操作示範成果檔。
可用「記事本」來開啟ro.out，瀏覽它的內容。



程式撰寫實驗計算成果分析作業

1. 作業要按時繳交。格式:A4，12號字，1.5倍行高。
(軟體比對相似度) (眉批)
2. 作業打字、電子檔上傳moodle繳交、紙本繳交。
3. 程式碼另以ASCII或PDF格式上傳moodle繳交。程式碼抽問+現場程式測試:確認程式是由同學親自撰寫。
4. 作業每遲交n日，則該作業成績為原始批閱分數乘以 $(0.8)^n$ ，n最多等於3，超過3日該作業以零分計。
5. 作業不可抄襲(含抄襲網路文文章程式碼)，抄襲和被抄襲者的學期成績一律 0 分。

作業內容包括下列各項

- (1) 作業名稱
- (2) 你的班級、姓名、學號
- (3) 作業目的
- (4) 解析法相對方位(AR)的意義及其用途
- (5) 你的計算程式使用的計算步驟及流程圖
- (6) 你給定5個未知數近似值的做法
- (7) 作業步驟1至步驟10的AR操作內容及其相關數據
- (8) 你給定5個未知數近似值 = ?
- (9) 計算成果報表內容要點及分析
- (10) 回答下頁的8個問題
- (11) 結語
- (12) 參考文獻
- (13) 附錄: 你的程式碼
- (14) 報表: 你的程式輸出報表

1. 共有_____個物點參與相對方位之計算。
2. 有_____個觀測值，有_____個未知數，所以自由度 = _____。
其中，每一種觀測值的名稱及其數量分別為何？每一種未知數的名稱及其數量分別為何？
3. 精度最佳者為那一個RO元素？其後驗中誤差為_____。
4. 另外的4個姿態角的後驗中誤差為前者(精度最佳者)的幾倍？
5. 全部物點的模型坐標(U, V, W)之值域：
U : $U_{min} \sim U_{max} =$ _____ (單位: _____)
V : $V_{min} \sim V_{max} =$ _____ (單位: _____)
W : $W_{min} \sim W_{max} =$ _____ (單位: _____)
6. 全部點的虛擬體積觀測值之均方根值為 _____ (單位: _____)。
7. 後驗單位權中誤差為 _____ (單位: _____)。
8. 前述的後驗單位權中誤差的意義為何？

AR 作業各項次內容之頁碼位置對照檢核表

班級:

姓名:

學號:

項次	作業項次內容	頁碼	備註
1	作業名稱		
2	你的班級、姓名、學號		
3	作業目的		
4	解析法相對方位(AR)的意義及其用途		
5	你的計算程式使用的計算步驟及流程圖		
6	你給定5個未知數近似值的做法		
7	作業步驟1至步驟10的AR操作內容及其相關數據		
8	你給定5個未知數近似值 = ?		
9	你的計算成果報表內容要點、成果數據及分析		
10	回答第26頁的8個問題		
11	結語		
12	參考文獻		
13	附錄: 你的程式碼		
14	報表: 你的程式輸出報表		

請填寫並列印此表
並裝訂在你的作業
紙本第1頁

