

Data limite de entrega:  
08-11-2011

### Lab 3: Orientação e correcção geométrica de imagens de satélite

#### 1. Objectivos:

- Orientar e corrigir as distorções geométricas duma imagem do satélite Ikonos utilizando dois métodos de orientação (polinomial e rpc)
- Comparar, em termos de qualidade posicional da imagem georreferenciada, os diferentes métodos de orientação e correcção geométrica de imagem de satélite.

#### 2. Dados:

1. Uma imagem do satélite Ikonos com os respectivos parâmetros de orientação externa
2. Um Modelo Digital de Terreno (MDT) da área da imagem obtido por interpolação a partir da informação altimétrica que consta da série 1:10k do concelho de Coimbra
3. Coordenadas {X,Y,Z} de Pontos de Controlo obtidos por técnicas GNSS

#### 3. Correção geométrica

##### Introdução

As imagens de Detecção Remota podem conter distorções geométricas significativas que impedem a sua utilização directa quer como informação de referência para fins cartográficos, quer como informação de base para sistemas de informação geográfica. Assim será necessário corrigir geometricamente (isto é rectificar) as imagens para que estas possam ser utilizadas como uma projecção ortográfica permitindo assim a sua integração com outras camadas de dados geográficos. No entanto, para converter a geometria da imagem num projecção ortográfica é necessário conhecer a orientação do sensor de imageamento no instante da aquisição da imagem.

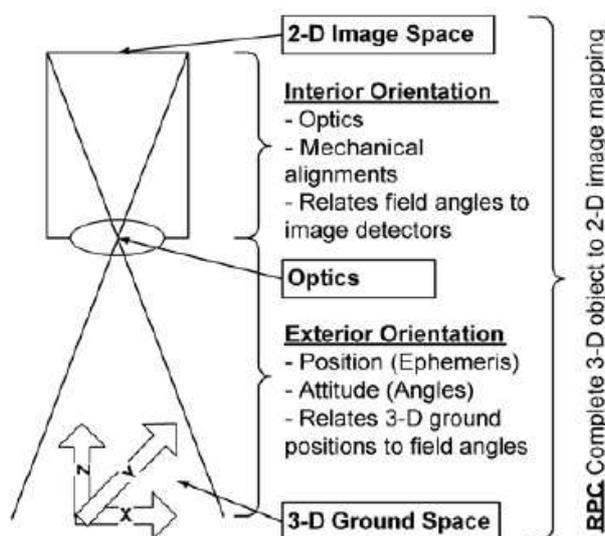


Figura 1: Relação entre o espaço imagem e o espaço objecto nos diferentes modelos de orientação dos sensores

Os modelos para orientação de imagens de satélite de alta resolução podem ser classificados em duas categorias:

- modelos black-box (como os Modelos de Funções Racionais (RFM - Rational Function Models)), os quais consistem em modelos puramente analíticos, independentes do tipo de plataformas e/ou das características físicas dos sensores e da sua geometria de aquisição; como em geral o tipo de funções utilizadas são polinómios, estas ficam completamente definidas conhecendo os coeficientes destes polinómios. Daí que a este modelo também se designa habitualmente por RPC (Rational Polynomial Coefficients ou ainda Rapid Positioning Capability) e em geral estes coeficientes polinomiais racionais são fornecidos nos metadados das imagens
- modelos de base física (modelos rigorosos), os quais levam em consideração vários aspectos que influenciam os procedimentos de aquisição; inclui os parâmetros físicos da câmara/sensor que definem a sua orientação interna (distância focal, localização do ponto principal, distorções das lentes) e os parâmetros de orientação externa da imagem (posição do centro de projecção e atitude do plano imagem).

### Modelos RPC

As Funções Racionais permitem realizar a transformação entre os espaços imagem e objecto através de um quociente entre dois polinómios. As coordenadas imagem (x, y) e as coordenadas objecto (X, Y, Z) são normalizadas por forma a variarem no intervalo (-1.0, 1.0), sendo tal procedimento executado com o intuito de obter maior estabilidade numérica dos algoritmos e minimização dos erros de cálculo, devido à grande variação entre a dimensão da imagem e extensão geométrica, respectivamente. As Funções Racionais podem ser expressas por meio das relações [Kaichang03]:

$$x = \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)} \quad ; \quad y = \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)} \quad (1)$$

Nestas expressões os polinómio  $P_i$  ( $i=1, \dots, 4$ ) têm a forma geral:

$$P(X, Y, Z) = \sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k \quad (2)$$

Em geral a ordem dos polinómios é limitada a  $0 \leq m_i \leq 3$  ( $i=1, 2, 3$ ) e a  $m_1 + m_2 + m_3 \leq 3$ . Portanto, cada polinómio  $P(X, Y, Z)$  é de terceiro grau com 20 termos e pode ser escrito na forma:

$$\begin{aligned} P(X, Y, Z) = & a_{000} + \\ & a_{100}X + a_{010}Y + a_{001}Z + \\ & a_{200}X^2 + a_{110}XY + a_{101}XZ + a_{020}Y^2 + a_{011}YZ + a_{002}Z^2 \\ & a_{300}X^3 + a_{210}X^2Y + a_{201}X^2Z + a_{102}XY^2 + a_{111}XYZ + a_{102}XZ^2 + a_{030}Y^3 + a_{021}Y^2Z + \\ & a_{012}YZ^2 + a_{003}Z^3 \end{aligned}$$

Substituindo os polinómios nas equações (1), eliminando o primeiro coeficiente do denominador e reescrevendo as expressões resultantes na forma polinomial (renomeando os  $a_{ijk}$  por  $a_i$ ) obtemos

$$\begin{aligned} x = & \frac{\begin{bmatrix} 1 & X & Y & Z & \dots & Y^2Z & YZ^2 & Z^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_{17} & a_{18} & a_{19} \end{bmatrix}^T}{\begin{bmatrix} 1 & X & Y & Z & \dots & Y^2Z & YZ^2 & Z^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & b_1 & b_2 & b_3 & \dots & b_{17} & b_{18} & b_{19} \end{bmatrix}^T} \quad ; \\ y = & \frac{\begin{bmatrix} 1 & X & Y & Z & \dots & Y^2Z & YZ^2 & Z^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_0 & c_1 & c_2 & c_3 & \dots & c_{17} & c_{18} & c_{19} \end{bmatrix}^T}{\begin{bmatrix} 1 & X & Y & Z & \dots & Y^2Z & YZ^2 & Z^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & d_1 & d_2 & d_3 & \dots & d_{17} & d_{18} & d_{19} \end{bmatrix}^T} \end{aligned}$$

Cada uma destas expressões contém 39 termos, incluindo os 20 presentes no numerado e os 19 presentes no denominador. Utilizando as coordenadas (X,Y,Z) de pelo menos 39 pontos de controlo e identificando-os na imagem podemos formar um sistema de equações lineares que nos permitirá determinar estes 78 (39+39) coeficientes.

Dadas as coordenadas terreno Z, a transformação inversa das funções racionais permite-nos passar do espaço imagem para o espaço objecto:

$$X = \frac{P_5(x, y, Z)}{P_6(x, y, Z)} ; Y = \frac{P_7(x, y, Z)}{P_8(x, y, Z)} \quad (3)$$

Para melhorar a estabilidade numérica do sistema e minorar os erros de cálculo é habitual trabalhar com as coordenadas imagem e as coordenadas objecto normalizadas no intervalo [-1,1]. Assim este modelo é habitualmente reformulado em coordenadas imagem line e sample (l,s) e coordenadas objecto latitude, longitude altura elipsoidal (U,V,W):

$$l = l_n L_s + L_0 ; s = s_n S_s + S_0,$$

$$U = (\varphi - \varphi_0) / \varphi_s ; V = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_s ; W = (h - h_0) / h_s,$$

$$l_n = \frac{Num_L(U, V, W)}{Den_L(U, V, W)} ; s_n = \frac{Num_S(U, V, W)}{Den_S(U, V, W)}.$$

Onde

$$Num_L(U, V, W) = a_1 + a_2 V + a_3 U + a_4 W + a_5 VU + a_6 VW + a_7 UW + a_8 V^2 + a_9 U^2 +$$

- $a_{10} W^2 + a_{11} UVW + a_{12} V^3 + a_{13} VU^2 + a_{14} VW^2 + a_{15} V^2 U + a_{16} U^3 +$
- $a_{17} UW^2 + a_{18} V^2 W + a_{19} U^2 W + a_{20} W^3$

$$Den_L(U, V, W) = 1 + b_2 V + b_3 U + b_4 W + b_5 VU + b_6 VW + b_7 UW + b_8 V^2 + b_9 U^2 +$$

- $b_{10} W^2 + b_{11} UVW + b_{12} V^3 + b_{13} VU^2 + b_{14} VW^2 + b_{15} V^2 U + b_{16} U^3 +$
- $b_{17} UW^2 + b_{18} V^2 W + b_{19} U^2 W + b_{20} W^3$

- $L_s$  e  $L_0$  são os termos de escala e offset da line
- $S_s$  e  $S_0$  são os termos de escala e offset da sample
- $\varphi, \lambda, h$  são a latitude, longitude e altura
- $(\varphi_s, \lambda_s, h_s), (\varphi_0, \lambda_0, h_0)$  são os correspondentes termos de escala e offset, os quais podem ser calculados de forma análoga a:

$$\varphi_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_i ; \varphi_s = \max \{ |\varphi_{\max} - \varphi_0|, |\varphi_{\min} - \varphi_0| \}$$

Note-se que as expressões NumS e DenS são construídas de forma análoga dando origem a 78 coeficientes RPC (ci,di).

```

po_4739_rgb_0000000_rpc.txt - Notepad
File Edit Format View Help
LINE_OFF: +004814.00 pixels
SAMP_OFF: +004306.00 pixels
LAT_OFF: +40.20000000 degrees
LONG_OFF: -008.41100000 degrees
HEIGHT_OFF: +0216.000 meters
LINE_SCALE: +004815.00 pixels
SAMP_SCALE: +004307.00 pixels
LAT_SCALE: +00.04410000 degrees
LONG_SCALE: +000.06810000 degrees
HEIGHT_SCALE: +0388.000 meters
LINE_NUM_COEFF_1: -1.760832083876803E-03
LINE_NUM_COEFF_2: -7.989697313308187E-03
LINE_NUM_COEFF_3: -1.016573969130789E+00
LINE_NUM_COEFF_4: -6.769853489594079E-03
LINE_NUM_COEFF_5: -1.184506322648152E-03
LINE_NUM_COEFF_6: -1.159056747708594E-05
LINE_NUM_COEFF_7: -3.300343268555469E-04
LINE_NUM_COEFF_8: -4.715583018110574E-04
LINE_NUM_COEFF_9: +9.446544531780142E-03
LINE_NUM_COEFF_10: -2.177330332073803E-06
LINE_NUM_COEFF_11: +9.220902813888206E-06
LINE_NUM_COEFF_12: -1.687022563947368E-07
LINE_NUM_COEFF_13: -1.243668494900992E-06
LINE_NUM_COEFF_14: +2.059433631143666E-07
LINE_NUM_COEFF_15: +5.574001455305289E-05
LINE_NUM_COEFF_16: -1.015631832265493E-04
LINE_NUM_COEFF_17: +1.428426325966136E-05
LINE_NUM_COEFF_18: -2.534582564392721E-06
LINE_NUM_COEFF_19: +1.955627563130875E-05
LINE_NUM_COEFF_20: +9.459627671227623E-08
LINE_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000E+00
LINE_DEN_COEFF_2: +1.236148866412644E-03
LINE_DEN_COEFF_3: -9.296373845485114E-03
LINE_DEN_COEFF_4: +5.452662946893072E-04
LINE_DEN_COEFF_5: +4.635520076285389E-07
LINE_DEN_COEFF_6: -8.727810929655708E-06
LINE_DEN_COEFF_7: -2.143637986496593E-05
LINE_DEN_COEFF_8: -5.073267363991847E-05
LINE_DEN_COEFF_9: +9.994123531220539E-05
LINE_DEN_COEFF_10: -1.387154018803467E-05
LINE_DEN_COEFF_11: -6.728084606613410E-09
LINE_DEN_COEFF_12: +2.726515623784114E-09
LINE_DEN_COEFF_13: +1.796716277440408E-09
LINE_DEN_COEFF_14: +2.194200289275592E-09
LINE_DEN_COEFF_15: -3.785497648333124E-08
LINE_DEN_COEFF_16: +3.883718857774325E-08
LINE_DEN_COEFF_17: +2.117527082357580E-09
LINE_DEN_COEFF_18: +3.098887749475172E-08
LINE_DEN_COEFF_19: -9.315993084423093E-08
LINE_DEN_COEFF_20: +4.200652253116562E-09
SAMP_NUM_COEFF_1: +2.303247543137042E-02
SAMP_NUM_COEFF_2: +1.345756312210054E+00
SAMP_NUM_COEFF_3: -7.755212211343592E-03
SAMP_NUM_COEFF_4: -8.344246249057727E-03

```

Figura 2: Exemplo dos coeficientes RPC para uma imagem Ikonos da cidade de Coimbra

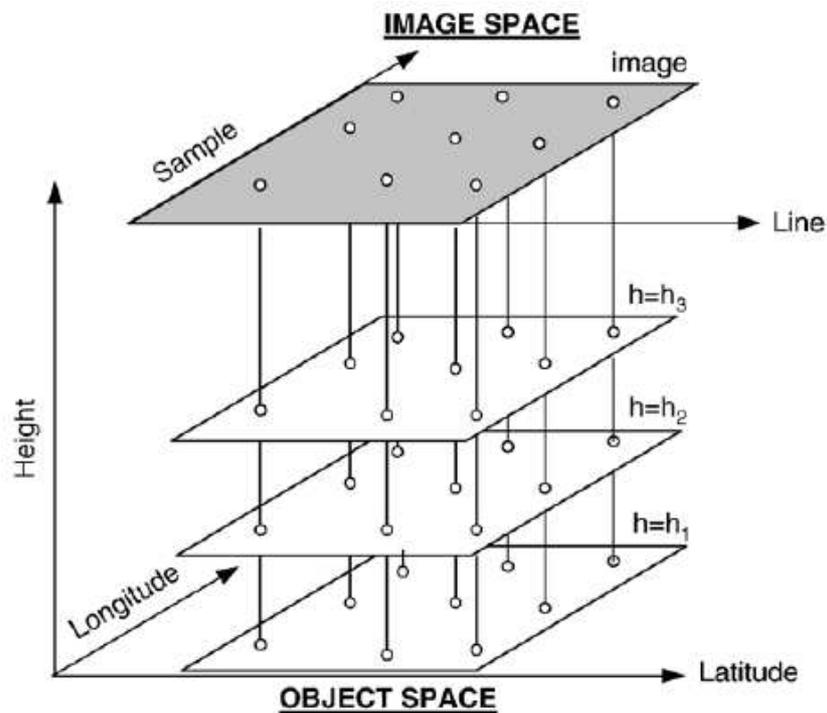


Figura 3: Geração da grelha 3D dos pontos de controlo para determinação dos RPCs

Para o cálculo destes 80 RPC as empresas que comercializam as imagens de um dado sensor utilizam em geral os modelos de base física para gerar uma grelha 3D de pontos de controlo na área definida no espaço objecto correspondente à imagem em causa. Esta grelha é gerada considerando vários planos horizontais (em geral 3-5) a alturas diferentes e gera-se para cada plano uma grande quantidade de pontos de controlo (centenas) utilizando a orientação interna e externa do sensor. Resolvendo pelo método dos mínimos quadrados as equações indirectas

$$\begin{bmatrix} v_l \\ v_s \end{bmatrix} = \mathbf{B}\mathbf{\Delta} + \begin{bmatrix} l^0 - l \\ s^0 - s \end{bmatrix}$$

Onde,

$$\mathbf{\Delta} = (\delta a_1, \dots, \delta a_{20}, \delta b_1, \dots, \delta b_{20}, \delta c_1, \dots, \delta c_{20}, \delta d_1, \dots, \delta d_{20})$$

B é a matriz das derivadas parciais relativamente aos 80 coeficientes.

### Problema Inverso

Neste caso são dadas as coordenadas imagem dum ponto os RPCs da imagem de satélite e pretende-se calcular as correspondentes coordenadas terreno utilizando expressões análogas às equações (3).

### Transformação polinomial 2D

Quando a área coberta pela imagem é plana, os polinómios de grau baixo podem fornecer bons resultados. Neste caso, se utilizarmos um polinómio de grau 1 o modelo de orientação é dado por:

$$\begin{cases} x = a_0 + a_1X + a_2Y \\ y = b_0 + b_1X + b_2Y \end{cases}$$

Onde x,y são as coordenadas pixel e X,Y as coordenadas terreno (objecto), ai e bi os coeficientes dos polinómios.

Alguns estudos mostraram que mesmo em áreas montanhosas os polinómios 3D de baixo grau podem dar bons resultados. Neste caso o modelo será:

$$\begin{cases} x = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XZ + a_5YZ \\ y = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4XZ + b_5YZ \end{cases}$$

## 4. Tarefas a realizar

---

### Exercício 1: Correção geométrica duma imagem Ikonos utilizando um plano horizontal como MDT

1. Realizar a orientação externa e a correção geométrica da imagem de satélite utilizando
  - 1.1 Uma transformação polinomial 2D
  - 1.2 Uma transformação por coeficientes racionais
2. Comparar as duas transformações
3. Elaborar um relatório descrevendo a metodologia utilizada.

### Exercício 2<sup>1</sup>: Cálculo das coordenadas geográficas dum ponto imagem utilizando os RPC.

Elabore uma função em MatLab (ou Python) que permita efectuar transformar as coordenadas imagem nas coordenadas objecto.

---

<sup>1</sup> Apenas para os alunos do Mestrado em Engenharia Geográfica

## **Bibliografia**

---

[Kaichang, D., Ruijin, M. and Li, R., Rational Functions and Potential for Rigorous Sensor Model Recovery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69\(1\): 33-41](#)

[Fraser, C., Dial, G., Grodecki, J., 2006. Sensor orientation via RPCs. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 60\(3\): 182-194.](#)

[Tao, V. and Hu, Y., 2001. A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 67\(12\): 1347-1357.](#)

[Tao, V., Hu, Y., 2002. 3D reconstruction methods based on the rational function model. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 68 \(7\), 705-714.](#)