

CORONA műholdfelvételek ortokorrekciója

Molnár Gábor
ELKH-ELTE, ELKH-CSFK

molnar@sas.elte.hu

CORONA Program

- (1958-)1960-1972
- CORONA Panoráma felvételek
- Felbontás: 12m → 2m
- + ARGON mérőkamera (120m)
- + LANYARD (1963) 2m

⋮

GAMBIT, HEXAGON Terrain (1963-1980)

HEGAGON HighRes (1971-84)

CORONA Program

- (1958-)1960-1972 Titkosítás feloldása
- CORONA Panoráma felvételek 1995
- Felbontás: 12m → 2m
- + ARGON mérőkamera (120m)
- + LANYARD (1963) 2m
- ⋮
- GAMBIT, HEXAGON Terrain (1963-1980) 2002
- HEGAGON HighRes (1971-84) 2013

CORONA

- U2 repülések 1960-ig
- Enyhülés, 1963
- SALT egyezmény (1972)

⋮

Al Gore javaslatára Bill Clinton 1995

Antarktis, Grönland jégtakarója az 1960-as években

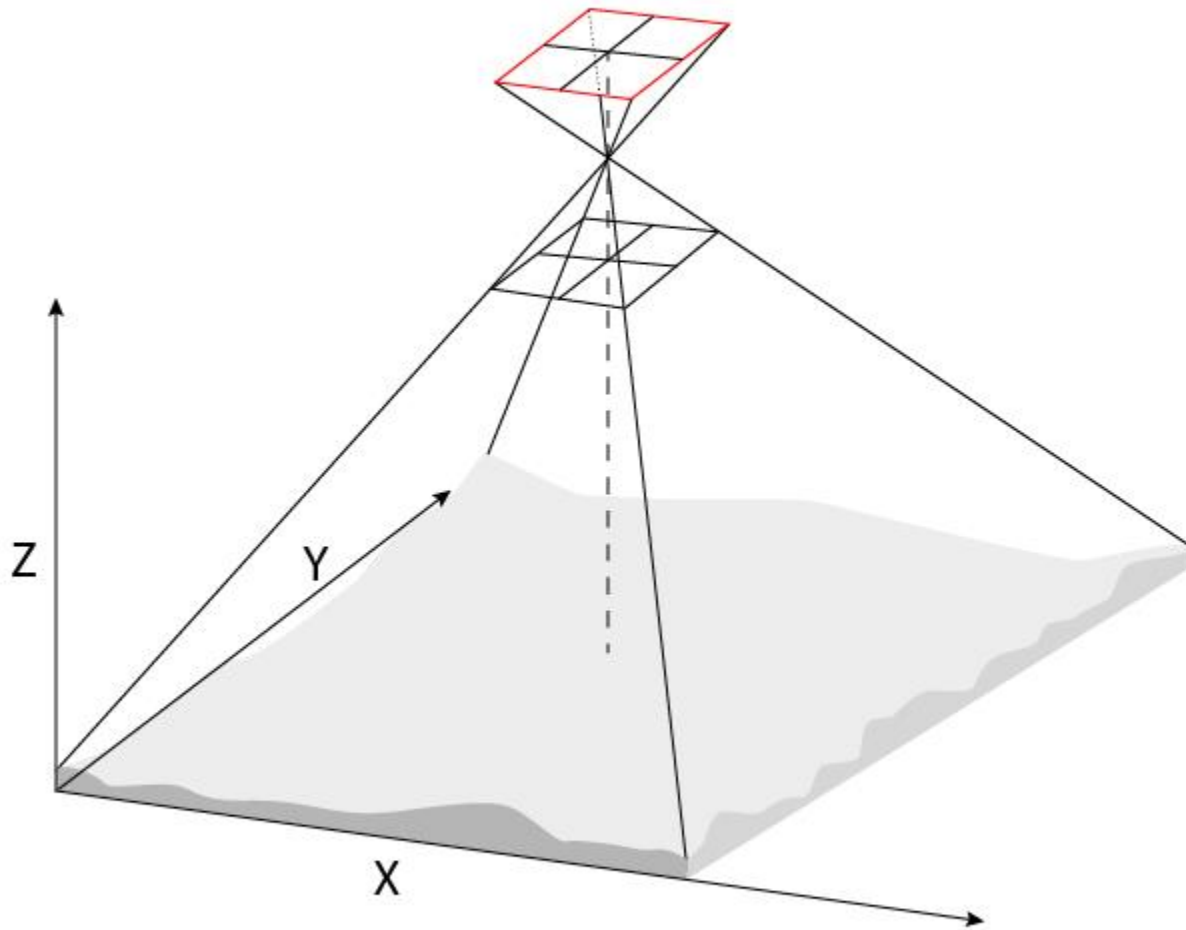
Himalájai gleccserek, Közel keleti régészet, Erdőterületek
becslése

USGS EROS Data Center: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Magyarország: Interspect Kft,

<https://mapire.eu/hu/map/corona-hungary/>

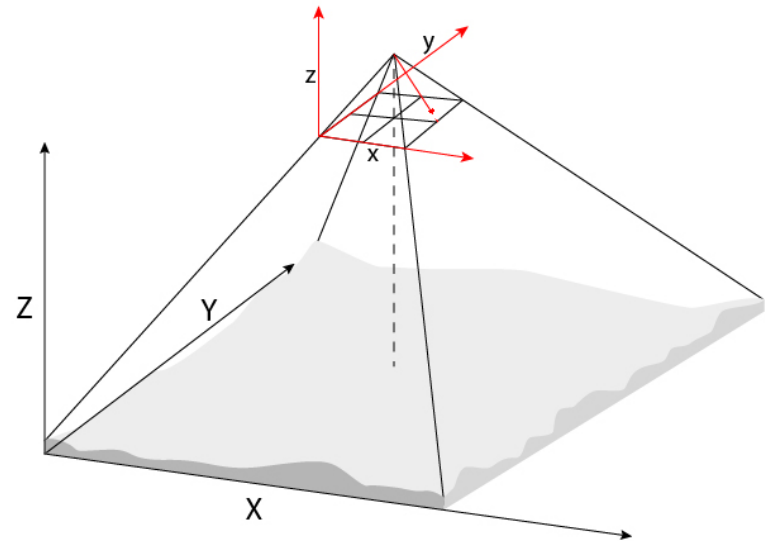
Mérőkamerás műholdkép ortokorrekciója → ARGON (6 küldetés, 1962-1964)



ARGON ortokorrekcója

Képtér és tárgyter
kapcsolatából:

Kollinearitási egyenletek:



$$x = x_0 - c \frac{R_{11}(X - X_0) + R_{21}(Y - Y_0) + R_{31}(Z - Z_0)}{R_{13}(X - X_0) + R_{23}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$
$$y = y_0 - c \frac{R_{12}(X - X_0) + R_{22}(Y - Y_0) + R_{32}(Z - Z_0)}{R_{13}(X - X_0) + R_{23}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$

Műholdnál a földgömbület: Lokális koordinátarendszer

CORONA felvételek ortokorrekciója

- Panoráma kamera
- Nem érvényes a centrális leképezés

$$x = f(X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \omega, X, Y, Z)$$

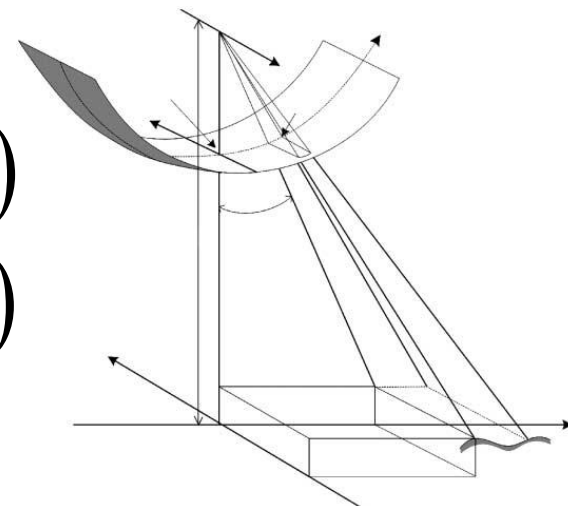
$$y = g(X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \omega, X, Y, Z)$$

CORONA felvételek ortokorrekciója

- Panoráma kamera
- Nem érvényes a centrális leképezés

~~$$x = f(X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \omega, X, Y, Z)$$

$$y = g(X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi, \omega, X, Y, Z)$$~~



$$x = f(X_0(t), Y_0(t), Z_0(t), \kappa(t), \varphi(t), \omega(t), X, Y, Z)$$

$$y = g(X_0(t), Y_0(t), Z_0(t), \kappa(t), \varphi(t), \omega(t), X, Y, Z)$$

CORONA ortokorrekción

Rational Polynomial Coefficient Camera Model (RPC)

~ *Polinomhányados együtthatós*

Grodecki és Dial (2003)

- Kiindulás: Légifénykép leképezési geometria módosítása → hányados függvény
- Nem projektív, nem centrális → magasabb fokszámú polinom
- Minden szenzorra alkalmazható

RPC modell

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$

$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$

$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

Polinom

általános

alakja:

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$

$$y = b_0 + b_1 y'$$

$$\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 X^i Y^j Z^k$$

RPC

$$x = x_0 - c \frac{R_{11}(X - X_0) + R_{21}(Y - Y_0) + R_{31}(Z - Z_0)}{R_{13}(X - X_0) + R_{23}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = y_0 - c \frac{R_{12}(X - X_0) + R_{22}(Y - Y_0) + R_{32}(Z - Z_0)}{R_{13}(X - X_0) + R_{23}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$

$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$

$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$

$$y = b_0 + b_1 y'$$

Polinom

általános

alakja:

$$\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 X^i Y^j Z^k$$

RPC

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$

$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$

$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$

$$y = b_0 + b_1 y'$$

X,Y,Z



x,y

RPC...

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$

$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$

$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$

$$y = b_0 + b_1 y'$$

- Skálatényezők (10db)

RPC

$$X' = \frac{X - X_0}{X_s}$$

$$Y' = \frac{Y - Y_0}{Y_s}$$

$$Z' = \frac{Z - Z_0}{Z_s}$$

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{xi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{xi} P(X', Y', Z')}$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^{20} C_{yi} P(X', Y', Z')}{\sum_{i=1}^{20} D_{yi} P(X', Y', Z')}$$

$$x = a_0 + a_1 x'$$

$$y = b_0 + b_1 y'$$

- Skálatényezők (10db)
- Együtthatók (4x20=80 db)!

RPC együtthatók

- LINE_OFF: +001135.00 pixels
- SAMP_OFF: +002548.00 pixels
- LAT_OFF: +32.71870000 degrees
- LONG_OFF: -117.13340000 degrees
- HEIGHT_OFF: +0036.000 meters
- LINE_SCALE: +001829.00 pixels
- SAMP_SCALE: +006570.00 pixels
- LAT_SCALE: +00.01710000 degrees
- LONG_SCALE: +000.07090000 degrees
- HEIGHT_SCALE: +0223.000 meters
- LINE_NUM_COEFF_1: -7.528832499211146E-04
- LINE_NUM_COEFF_2: +4.601152253660193E-03
- LINE_NUM_COEFF_3: -1.036420699442561E+00
- LINE_NUM_COEFF_4: -3.939430396366833E-02
- LINE_NUM_COEFF_5: +1.758745697921333E-03
- LINE_NUM_COEFF_6: +2.257622101649762E-04
- LINE_NUM_COEFF_7: +6.474973420688466E-04
- LINE_NUM_COEFF_8: -1.223444180173001E-03
- LINE_NUM_COEFF_9: -1.953865099469903E-03
- LINE_NUM_COEFF_10: +2.707996451436746E-05
- LINE_NUM_COEFF_11: +5.106721127563309E-07
- LINE_NUM_COEFF_12: +2.059656131998472E-06
- LINE_NUM_COEFF_13: -2.187266340724914E-07
- LINE_NUM_COEFF_14: +5.408550970877254E-08
- LINE_NUM_COEFF_15: -3.969967321294387E-06
- LINE_NUM_COEFF_16: +7.193088923189738E-07
- LINE_NUM_COEFF_17: -3.893729108734927E-07
- LINE_NUM_COEFF_18: -4.184439846468367E-06
- LINE_NUM_COEFF_19: +4.508022851487697E-08
- LINE_NUM_COEFF_20: -1.572275337568830E-08
- LINE_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000E+00
- LINE_DEN_COEFF_2: -1.687365611911388E-03
- LINE_DEN_COEFF_3: +1.883843946871524E-03
- LINE_DEN_COEFF_4: -6.553403287385857E-04
- LINE_DEN_COEFF_5: +2.119287878616578E-07
- LINE_DEN_COEFF_6: -2.158867917017867E-07
- LINE_DEN_COEFF_7: +6.601943700167489E-08
- LINE_DEN_COEFF_8: +1.299690579269976E-06
- LINE_DEN_COEFF_9: -6.964857498163998E-07
- LINE_DEN_COEFF_10: +3.410306056050380E-07
- LINE_DEN_COEFF_11: +5.172659752921717E-10
- LINE_DEN_COEFF_12: +2.711717432149379E-10
- LINE_DEN_COEFF_13: -1.476332053694697E-10
- LINE_DEN_COEFF_14: +3.595704138248104E-10
- LINE_DEN_COEFF_15: +2.285886747581438E-10
- LINE_DEN_COEFF_16: -1.118640880563040E-10

RPC használata

GDAL/OGR programcsomag

Parancssor:

```
>>gdalwarp -rpc raw.tif rectified.tif  
>>gdalwarp -rpc -to RPC_HEIGHT=257 raw.tif  
    rectified.tif  
>>gdalwarp -rpc -to RPC_DEM=srtm.tif raw.tif  
    rectified.tif
```

Grafikus környezet: QuantumGIS

RPC együtthatók becslése

- Illesztőpontokból (GCP, magasság is)
- Legkisebb négyzetek módszer
- RPC számláló és nevező fokszáma:
- 0. fok: a_0
- 1. fok: $a_0 + a_1 * X + a_2 * Y + a_3 * Z$
- 1,5 fok: $a_0 + a_1 * X + a_2 * Y + a_3 * Z + a_4 * X * Y + \dots$
- 2. fok: $a_0 + \dots + a_7 * X^2 + a_8 * Y^2 + a_9 * Z^2$
- 2,5 fok: $a_0 + \dots + a_{17} * X * Y * Z$ (nincs Z magasabb fokszáma)
- 3. fok: $a_0 + \dots + a_{19} * Z^3$

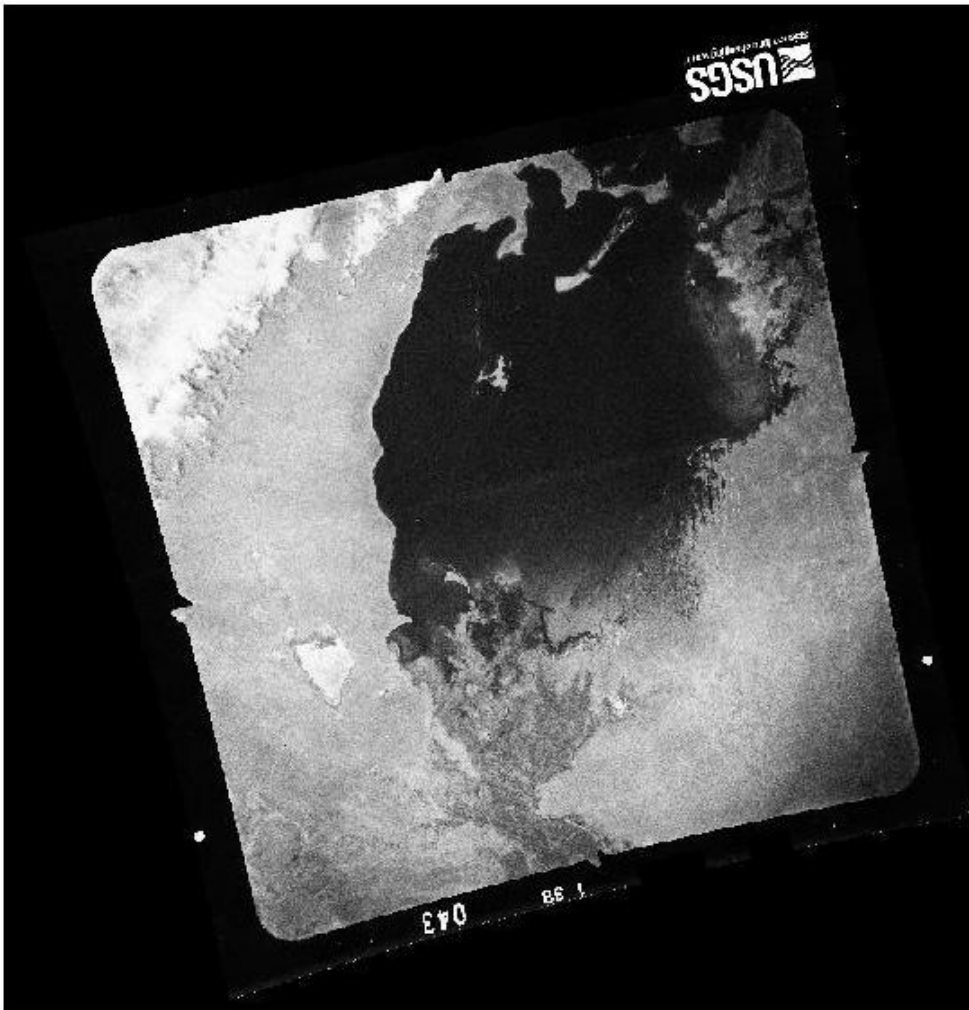
Reziduálok...

		nevező (c0....c20)					
számláló (a0....a20)	x	0.	1.	1,5(affin)	2.	„2,5”	3.
	0.	9284.5	10417	30231	40893	9.2477e+05	3.1871e+05
	1.	59.026	9.8751	5.9895	5.9885	5.8714	5.4598
	1,5(affin)	9.8785	6.3913	5.9777	6.0567	5.9874	5.3849
	2.	9.8626	6.3123	5.9299	6.1493	5.6794	5.3522
	„2,5”	5.8745	5.9201	6.3192	6.4483	103.78	24.021
	3.	5.7662	5.7932	5.9057	53.202	301.87	26.823
		nevező (d0....d20)					
számláló (b0....b20)	y	0.	1.	1,5(affin)	2.	„2,5”	3.
	0.	10950	11139	15304	11256	18135	11378
	1.	8.8611	8.3936	8.1417	8.1262	7.0585	7.0087
	1,5(affin)	6.9844	6.9558	6.8637	6.862	6.6101	6.5364
	2.	6.9077	7.0138	6.9175	6.92	6.7262	6.729
	„2,5”	6.6731	6.7598	16.406	47.374	47.269	143.95
	3.	6.6203	6.7571	208.65	57.913	24.827	284.12

Reziduálok...

		nevező (c0....c20)					
számláló (a0....a20)	x	0.	1.	1,5(affin)	2.	„2,5”	3.
	0.	9284.5	10417	30231	40893	9.2477e+05	3.1871e+05
	1.	59.026	9.8751	5.9895	5.9885	5.8714	5.4598
	1,5(affin)	9.8785	6.3913	5.9777	6.0567	5.9874	5.3849
	2.	9.8626	6.3123	5.9299	6.1493	5.6794	5.3522
	„2,5”	5.8745	5.9201	6.3192	6.4483	103.78	24.021
	3.	5.7662	5.7932	5.9057	53.202	301.87	26.823
		nevező (d0....d20)					
számláló (b0....b20)	y	0.	1.	1,5(affin)	2.	„2,5”	3.
	0.	10950	11139	15304	11256	18135	11378
	1.	8.8611	8.3936	8.1417	8.1262	7.0585	7.0087
	1,5(affin)	6.9844	6.9558	6.8637	6.862	6.6101	6.5364
	2.	6.9077	7.0138	6.9175	6.92	6.7262	6.729
	„2,5”	6.6731	6.7598	16.406	47.374	47.269	143.95
	3.	6.6203	6.7571	208.65	57.913	24.827	284.12

Eredmények: ARGON

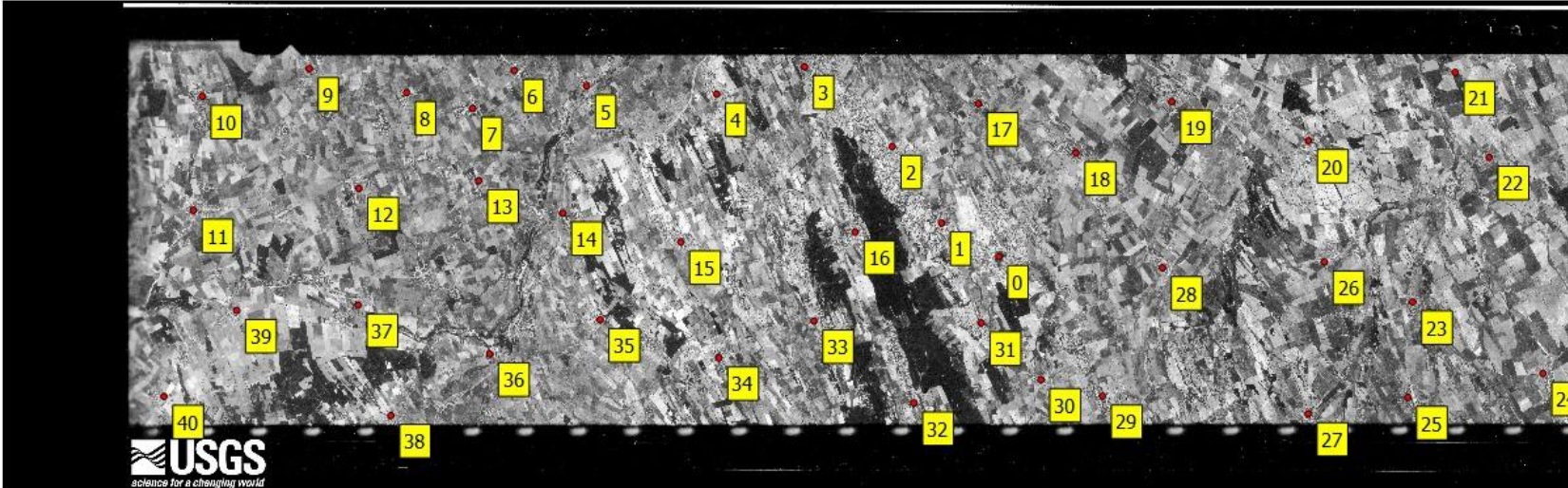


- Mérőkamerás felvéte
- Illesztőpontok (~200 db)
- Átfedő felvételek
- Külső tájékozás becslése
- Kamera együtthatók becslése (képfőpont és kamera paraméterek)
- Kötőpontok
- RMS hiba:120m(!)

CORONA (Dunántúl)

Georeferáló

Fájl Szerkesztés Nézet Beállítások



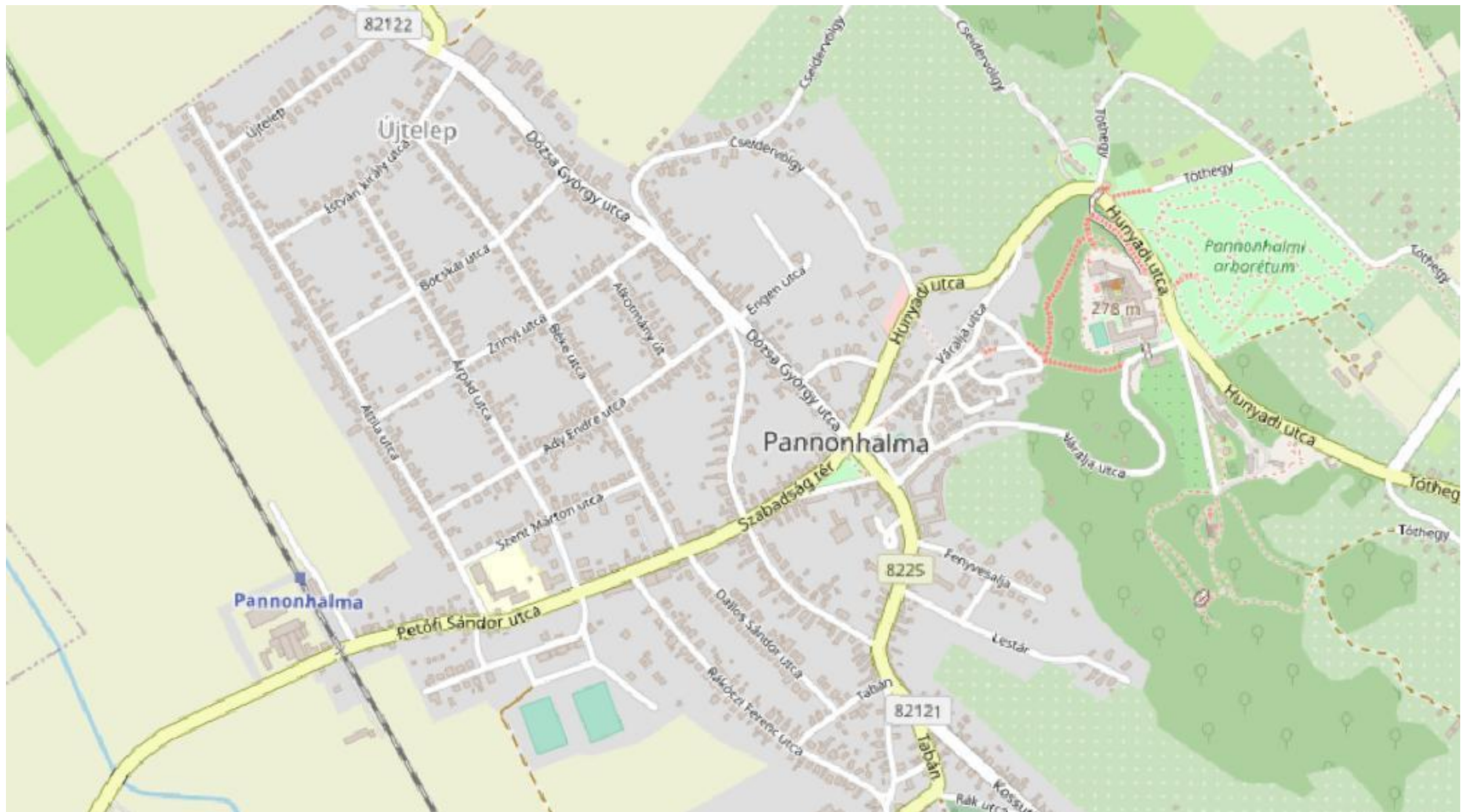
USGS
science for a changing world

GCP tábla

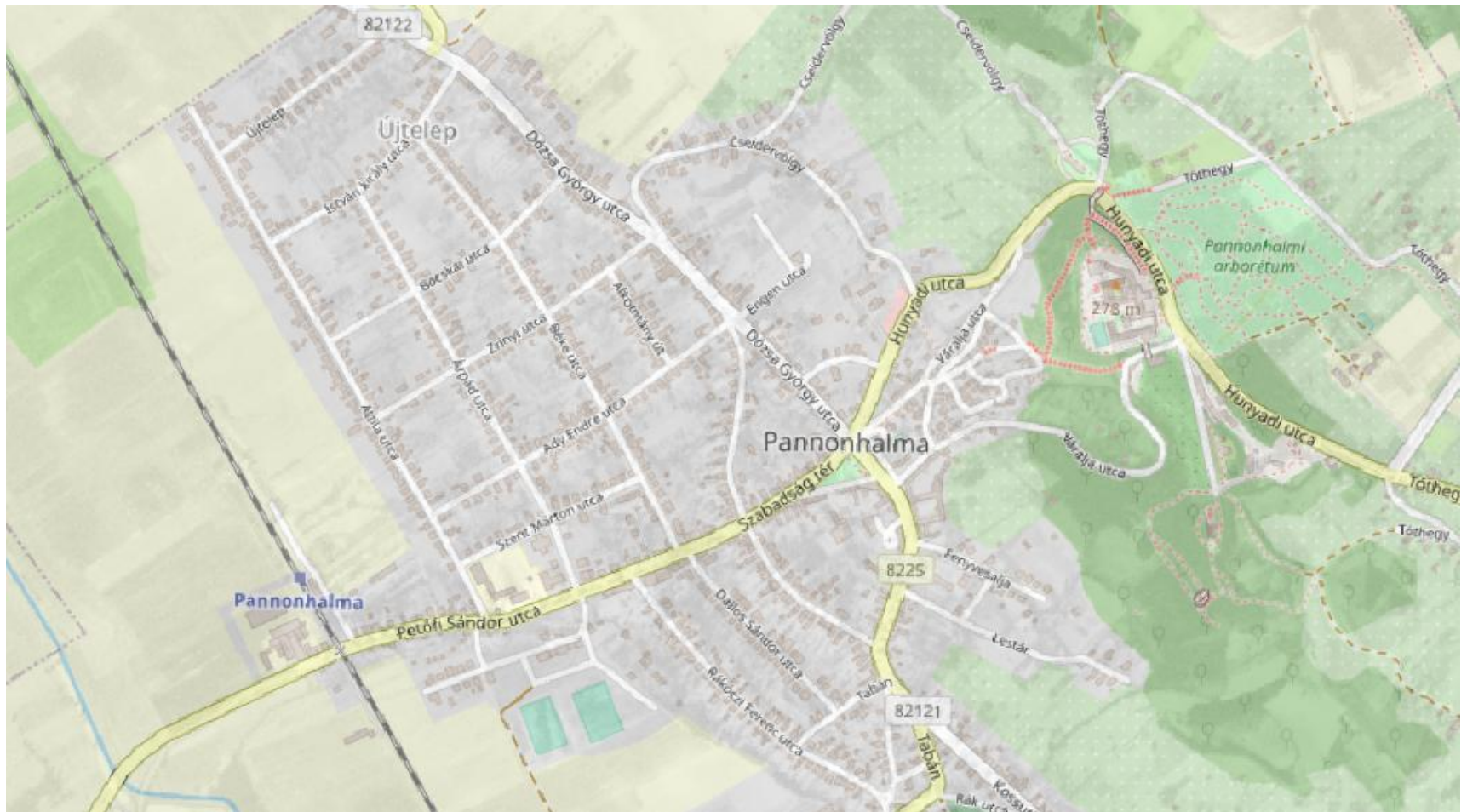
Látható	ID	Forrás X	Forrás Y	Cél X	Cél Y	dX (pixel)	dY (pixel)	Javítás (pixel)
☒	0	21278,9	-5467,04	553251	246184	0	0	0
☒	1	20053	-4748,64	549749	247247	0	0	0

Transzformáció: Nincs beállítva 31491,-112 Semmi

CORONA



CORONA



CORONA



CORONA



CORONA



GAMBIT



GAMBIT



GAMBIT



GAMBIT



GAMBIT



- Köszönöm a figyelmet!



molnar@sas.elte.hu