

Zbyněk MARŠÍK

DIGITÁLNÍ ORTOFOTO - TEORETICKÉ PRINCIPY

MARŠÍK Zbyněk: Digital Orthophotos - Theoretical Principles. Kartografické listy, 1997, 5, 2 figs., 1 ref.

Abstract: In the introduction there is reminded that digital photogrammetry is the fourth period of photogrammetric development. The beginning of it is connected with launching of the first satellite for civil purposes in 1972. Theory of digital transformation of pixels' density is shown in the second paragraph. What does it mean digital differential rectification is explained in the third paragraph. Formulae for geometrical (collinear) transformation of photographs are reminded at the end of the paper.

Keywords: transformation of pixels, geometrical transformation, differential rectification.

1. Úvod

V úvodu je třeba říci několik vět o digitální fotogrammetrii vůbec. První použití fotografického snímku pro měřické účely se datuje do roku 1850. V prvním období převládaly ve fotogrammetrii grafické, kresličské zpracovatelské metody. Proto toto období je označováno jako fotogrammetrie stolová. Když v roce 1901 byl vymyšlen a vyroben první přístroj pro přesné určení snímkových souřadnic (stereokomparátor), začalo období rozkvětu fotogrammetrie a nazývá se analogová fotogrammetrie. Bouřlivý rozvoj přístrojové výpočetní techniky v 50. létech tohoto století umožnil vznik období nazvanému analytická fotogrammetrie. Čtvrté období, současné, je nazýváno jako fotogrammetrie digitální.

Za počátek tohoto posledního vývojového období fotogrammetrie se klade rok 1972. Tehdy byla vypuštěna americká družice, jejíž bohatý snímkový materiál byl poprvé široce využíván i pro civilní účely. Opto-elektronická snímací aparatura této družice umožňovala i vyžadovala číslicový, digitální způsob záznamu snímaných informací a digitální přenos těchto informací na Zemi. Tehdy již vyspělá výpočetní technika umožňovala i digitální zpracování informací.

Brzy po sestavení počítačových zpracovatelských technologií digitálních družicových snímků se objevila snaha využít výhod počítačového zpracování i pro fotografické snímky. Fotografický obraz bylo ovšem nutno nejdříve digitalizovat. Na kvalitním fotografickém snímku je možno rozeznat detaily až 0,02mm malé. Na snímku s formátem 230x230mm je tedy zachyceno více než 130 milionů detailních informací. Nemá-li digitální snímek ztrácet na rozlišitelnosti detailů, nemůže být velikost snímacího elementu (pixelu) větší než 0,02mm. Digitalizační zařízení zaznamenává snímkové souřadnice x', y' každého obrazového elementu a dále optickou hustotu D (odstín šedi) každého elementu v číselné formě. Znamená to tedy, že soubor čísel z jednoho leteckého snímku zabere v paměťovém mediu počítače více než 0,5 gigabyte. Toto množství zpočátku bránilo rychlejšímu rozvoji digitální fotogrammetrie, avšak současná výpočetní přístrojová technika je již tak výkonná, že je možno mluvit o digitální fotogrammetrii nejen v budoucím čase.

2. Digitální vyjádření odstínů

Snímací digitalizační zařízení rozeznají až 256 odstínů šedi (zatímco lidské oko jen asi dvacet) a digitální formě to zaznamenají na magnetické médium. Digitální záznam šedi (optické hustoty) každého obrazového elementu může být počítačem změněn a tím může být

zvýšena interpretační schopnost obrazu. Digitální změny odstínů mohou být zaváděny jednoúrovňově nebo víceúrovňově, tj. v jednom snímku pořízeném v jedné oblasti spektra (např. v černobílém snímku), nebo v jednom snímku, či ve více snímcích ve více oblastech spektra (např. v barevném snímku či v multispektrálním záznamu). Odstínové korektury mohou být zaváděny bodově (pro jednotlivé obrazové elementy) a může to být vyjádřeno nějakou funkcí, např. logaritmickou

$$d'_i = \log^n d_i$$

kde d_i je originální hodnota odstínu a d'_i je korigovaná hodnota. Významnější a účinnější jsou plošné způsoby korigování, kde se přihlíží k nejbližšímu okolí korigovaného obrazového elementu. Pro homogenní, lineární snímkovou operaci, uskutečněnou počítačem, se to děje adjungováním matice $D(x,y)$ váhovou maticí $G(x,y)$:

$$D'(x,y) = G(x,y) * D(x,y)$$

kde $G(x,y)$ účinkuje jako filtr (viz [1], str. 303-307).

Filtrování může být uskutečněno také v určitém frekvančním rozsahu. V tom případě je nutno přetvořit matice $G(x,y)$ a $D(x,y)$ Fourierovou transformací

$$Fou D'(u,v) = Fou G(u,v).Fou D(u,v)$$

Potom $D'(x,y)$ může být získána inverzní Fourierovou transformací

$$D'(x,y) = Fou^{-1} D'(u,v).$$

Filtrační matici $G(x,y)$ můžeme volit podle účelu, ke kterému mají odstínové korektury sloužit. Např. zdůraznění hran v obraze může být uskutečněno Laplaceovým operátorem

$$\nabla d(x,y) = \frac{\partial^2 d}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 d}{\partial y^2}$$

jehož přibližná hodnota je

$$d'_{3ij} = 4d_{ij} - (d_{i-1,j} + d_{i,j-1} + d_{i+1,j} + d_{i,j+1})$$

Názorně je to ukázáno na schematu s maticemi 3x3 prvky - obr. 1.

$d_{i-1,j-1}$	$d_{i,j-1}$	$d_{i+1,j-1}$
$d_{i-1,j}$	$d_{i,j}$	$d_{i+1,j}$
$d_{i-1,j+1}$	$d_{i,j+1}$	$d_{i+1,j+1}$

snímková matice $D(x,y)$

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

filtrační matice $G(x,y)$
s Laplaceovým operátorem

Obr. 1 Zdůraznění hran na snímkové matici pomocí Laplaceova operátoru

3. Digitální překreslení

Pod pojmem digitální překreslení se rozumí diferenciální geometrické přemístění obrazového elementu nějakého snímku tak, aby vznikl digitální (diferenciálně překreslený) snímek.

K tomu účelu se musí spočítat geometrická přemístění každého obrazového elementu bodově pro jeho střední bod (1, str. 307-315).

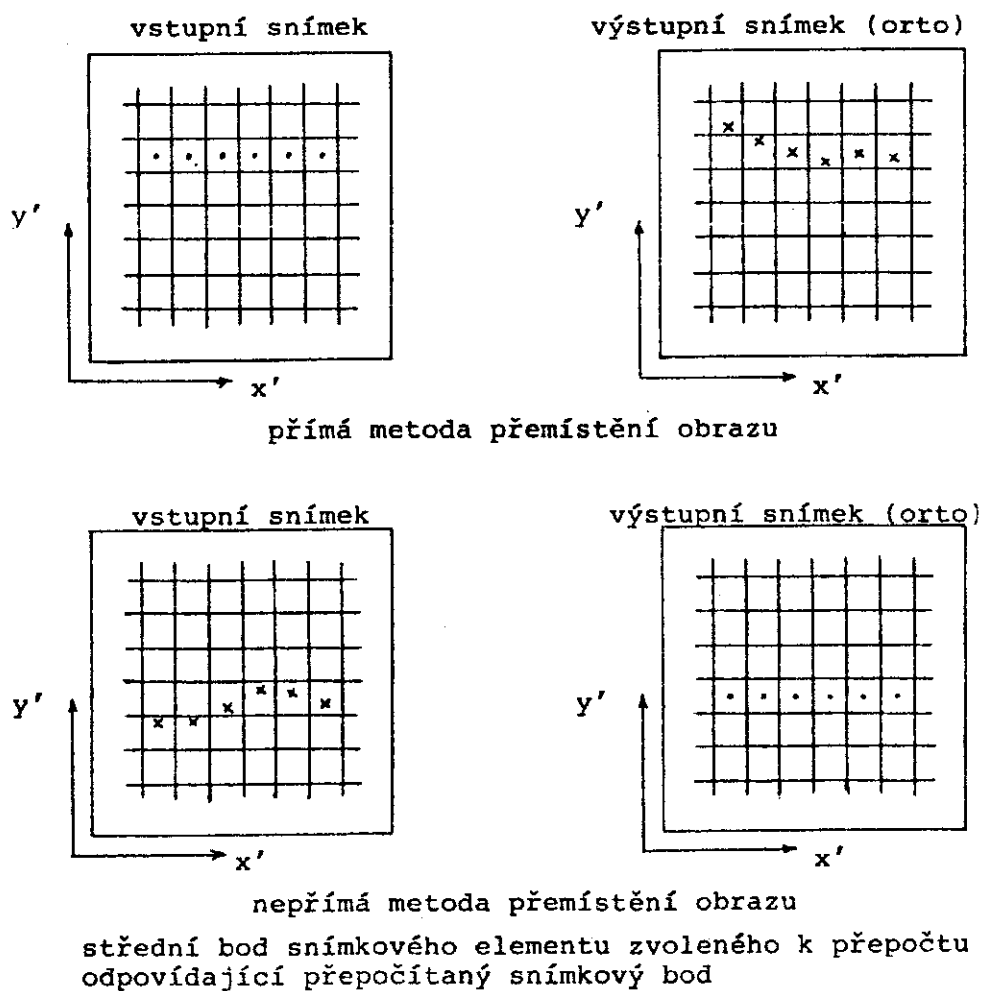
Pro výpočet geometrického přemístění obrazového elementu mohou být aplikovány dva způsoby: přímý a nepřímý. Při přímém způsobu se převede bod z originálního snímku na odpovídající bod v ortofotografickém snímku

$$x_i = f_1(x'_i, y'_i, z_i) \quad y_i = f_2(x'_i, y'_i, z_i)$$

Při nepřímém způsobu se k přepočtu zvolí střední bod požadovaného elementu v ortofotografickém snímku a vypočítá se k tomu náležející bod originálního snímku

$$x'_i = f_3(x_i, y_i, z_i) \quad y'_i = f_4(x_i, y_i, z_i)$$

Rozdílnost těchto dvou transformací je názorně ukázána na obr. 2. Význam rozdílnosti těchto dvou způsobů transformací vyplyne při přiřazování hodnot odstínů šedi obrazových elementů:



Obr. 2 Metoda přemístění obrazu

Při přímém způsobu bude originální snímek zpracováván po obrazových elementech řádkově. Pro každý střední bod obrazového elementu budou spočítány souřadnice odpovídajícího bodu v přetvořeném snímku. K tomu bude přiřazena hodnota odstínu originálního obrazového elementu. Následně potom budou zaznamenané hodnoty odstínů spolu se souřadnicemi přetvořeného snímku použity k interpolaci hodnot odstínů všech obrazových elementů přetvořeného snímku.

Při nepřímém způsobu budou použity střední body zvoleného rastru přetvořeného snímku k přepočítání odpovídajících snímkových souřadnic originálního snímku. Přiřazení hodnot odstínů je potom velmi jednoduché, neboť hodnota originálního obrazového elementu se přenesou na přetvořený obrazový element. Interpolace, zvýraznění a jiné operace s hodnotami odstínů, ukázané v odst. 2., mohou potom již v přetvořeném snímku snadno následovat.

4. Přetvoření měřických snímků

Základem přetvoření snímků jsou stejné geometrické vztahy a matematické formulace, jaké jsou používány v jednosnímkové fotogrammetrii pro konvenční překreslování jednotlivých snímků v celé ploše. I pro přetvoření digitálních snímků tedy platí rovnice pro kolineární transformaci. Přímý způsob přetvoření, zmíněný výše, vede k iterativnímu numerickému výpočtu. Pro nepřímý způsob je možno s výhodou zavést digitální model terénu $z_i(x_i, y_i)$, vztahený k výstupnímu rastru elementů (viz obr. 2.). Použité transformační rovnice potom jsou

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ -c \end{pmatrix} = \frac{1}{Q_i} A \begin{pmatrix} x_i - x'_0 \\ y_i - y'_0 \\ z_i - z'_0 \end{pmatrix}$$

kde Q_i je měřítkový parametr, c konstanta fotografické komory, x'_0 , y'_0 , z'_0 jsou tři translační parametry a v matici $A = (a_{ij})$ jsou tři nezávislé rotační parametry, , . Měřítkový parametr Q_i může být eliminován úpravou rovnic na tvar

$$y'_i = -c \frac{a'_{21}(x_i - x'_0) + a'_{22}(y_i - y'_0) + a'_{23}(z_i - z'_0)}{a'_{31}(x_i - x'_0) + a'_{32}(y_i - y'_0) + a'_{33}(z_i - z'_0)}$$
$$x'_i = -c \frac{a'_{11}(x_i - x'_0) + a'_{12}(y_i - y'_0) + a'_{13}(z_i - z'_0)}{a'_{31}(x_i - x'_0) + a'_{32}(y_i - y'_0) + a'_{33}(z_i - z'_0)}$$

ve kterých je tedy již jen šest neznámých parametrů.

5. Závěr

Digitální ortofoto může být pořizováno z leteckých černobílých i barevných snímků, jak bylo zde ukázáno, ale může být pořizováno i z družicových multispektrálních snímků. Pouze transformace souřadnic je o trochu složitější. V každém případě musí však být k dispozici dostatečně spolehlivý a dostatečně hustý digitální model terénu. Softwareových zpracovatelských technologií pro pořizování digitálních ortofoto je na trhu již celá řada.

LITERATURA

(1) Konecny, G., Lehman, G. 1984. Photogrammetrie. Berlin. 392 s.

S u m m a r y

Digital orthophotos - theoretical principles

Theoretical principles of digital orthophoto are based on collinearity transformation of each single pixel. Two ways may be applied: direct and indirect. In direct way the central of each pixel of the original photo is transported to the corresponding point in orthophoto. In indirect way the central point of requested element in orthophoto is chosen (in regular grid) first, and the corresponding point of the original photo is computed after. When the density of original pixels is modified in orthophoto, the indirect way of transformation is much more useful.

Lektoroval

RNDr. Petr Dobrovolný, CSc.,
Masarykova univerzita,
Brno