

GEOREFERENCOVÁNÍ VÍCELISTOVÝCH MAPOVÝCH DĚL

GEOREFERENCING OF MAP SERIES

Ing. Jiří CAJTHAML, Ph.D.

*Katedra mapování a kartografie, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7,
166 29 Praha 6, tel. +420 224354730
jiri.cajthaml@fsv.cvut.cz*

Abstract

Traditional methods of georeferencing of multiple sheet maps are usually based on the knowledge of coordinates of their corner points. If these coordinates are unknown and the set of ground control points has to be used, adjoining map sheets don't fit together after transformation of separate map sheets. They are usually shifted and rotated compared with others. The solution of this problem could be in the subsequent transformation based on edge fitting method. Unfortunately, this process deforms map images. The other method can work with merged image of all map sheets, but the data amount of resulting raster is quite limiting. The new proposed method for georeferencing of multiple sheet maps is based on the global adjustment of transformation parameters for all map sheets with edge fitting constraints. The shape of the edge of two adjacent map sheets must be identical after both transformations with adjusted parameters. The shape can be line segment (in case of similarity or affine transformation) or polynomial curve (in case of high-order polynomials). The task is defined as least-squares adjustment of intermediate measurements with constraints. This method was successfully tested on the selection of map sheets of Müller's map of Bohemia and First Military Mapping Survey of Austria-Hungary Empire.

Keywords: georeferencing, multiple sheet maps, transformation, edge fitting

Úvod

Tradiční metody georeferencování vícelistových mapových děl jsou většinou založeny na znalosti souřadnic rohů mapových listů. Pokud tato informace není známa a je nutné využít souboru identických bodů přímo v mapě, nelze po transformaci jednotlivých listů očekávat soulad jejich styku. Mapové listy jsou vůči sobě většinou mírně posunuty a pootočený. Řešením tohoto problému může být vyrovnávací dotransformace na stycích mapových listů (která však deformuje obraz), případně georeferencování spojeného obrazu více listů. Pokud se jedná o mapové dílo většího rozsahu (desítky až stovky mapových listů) je transformace spojeného obrazu prakticky vyloučena pro výslednou velikost rastru. Novým navrhovaným přístupem k řešení problému georeferencování vícelistových mapových děl může být společné vyrovnání koeficientů pro transformace jednotlivých mapových listů s podmínkami návaznosti hran sousedících map. Obraz hrany obou sousedních mapových listů musí být totožný (může se jednat o úsečku v případě podobnostní či afinní transformace, ale i o křivku v případě polynomických transformací vyšších řádů). Matematicky je úloha definována jako vyrovnání měření zprostředkujících s podmínkami. Tato metoda byla s úspěchem testována na výběru mapových listů Müllerovy mapy Čech a I. vojenského mapování Rakouska-Uherska z území Čech.

1. Vícelistová mapová díla

Při práci se starými mapami velmi často narážíme na problematiku vícelistových mapových děl. Jedná se zejména o mapy středních a velkých měřítek, pokrývající zájmové území státní, oblastní či lokální. Zpravidla je v dnešní době požadována bezešvá digitální mapová kompozice všech mapových listů tak, aby bylo možné ji použít jako vrstvu do geografických informačních systémů.

1.1 *Mapy se známými souřadnicemi rohů mapových listů*

Vícelistová mapová díla je možné rozdělit do několika kategorií. V nejjednodušším případě máme k dispozici pravidelný klad mapových listů se známými souřadnicemi rohů mapových listů v některém z dnešních souřadnicových systémů. Pak je možné transformovat mapy přímo na tyto souřadnice některou z nereziduálních transformací. Zpravidla se používá projektivní transformace na všechny 4 rohy, která však nebývá běžnou součástí GIS software. Do této kategorie map mohou patřit nově vytvářená mapová díla v současných souřadnicových systémech. Na území ČR se jedná například o vojenské topografické mapy vydávané po II. světové válce, mapy SMO-5, Základní mapy aj.

1.2 *Mapy v pravidelném kladu bez znalosti souřadnic*

V druhém případě máme k dispozici mapy v pravidelném kladu, u kterých však nejsou známy přesné souřadnice rohů mapových listů v dnes používaných souřadnicových systémech. Tyto mapy byly většinou vyhotoveny v souřadnicovém systému, pro který není definována globální transformační metoda. Přístupů může být v tomto případě víc. Jednou z metod je definování přesné transformační metody založené např. na identických bodech triangulačních prací pro různá mapování. Ukázkové využití je možné nalézt v (Čada, 2003). Na základě identických bodů je možné odvodit globální transformační klíč. Zde se v současnosti s úspěchem využívá metod globální transformace a následně pravidelné sítě odchylek, pomocí které je možné modelovat lokální deformace příslušného souřadnicového systému. Této metody využívá například nejnovější transformační metoda mezi systémy SJTSK a ETRF (Kostelecký a kol., 2010). Po využití globální transformační metody je možné vypočítat přesné souřadnice rohových bodů mapových listů a dále postupovat jako v předchozím odstavci.

Pokud nehodláme (nebo nejsme schopni) vytvářet přesnou globální transformační metodu pro starý souřadnicový systém, je možné využít identických bodů v rámci mapy. Tyto metody jsou hlavním tématem příspěvku a budou popsány následně.

Do této kategorie je možné zařadit mapová díla v některém ze starších souřadnicových systémů vyhotovená v pravidelném kladu. Jedná se zde zejména o vojenská mapování Rakouska-Uherska v Cassini-Soldnerově či Sanson-Flamsteedově zobrazení. Dále je sem možné zařadit Müllerovy mapy Čech a Moravy, které mají také pravidelný klad.

1.3 *Mapy bez pravidelného kladu*

Pokud máme k dispozici mapy bez pravidelného kladu a není tedy možné transformovat mapy na rohy mapových listů, je důležité pracovat s prvky mapy, které umožňují definovat jejich návaznost. Zde je tedy nutné využít nejen dobře identifikovatelné identické body v mapě, ale také body na rámech map tak, aby bylo možné vytvořit souvislou mozaiku. Mezi

tyto mapy je možné zařadit různé tematické mapy a také např. Císařské otisky Stabilního katastru, které sice většinou drží pravidelný klad mapových listů Stabilního katastru, ale na mnoha místech se tomuto kladu vymykají a není je tak možné vždy transformovat pouze na rohy jednotlivých listů.

2. Tradiční georeferencování vícelistových map

Pokud se snažíme georeferencovat mapy v pravidelném kladu bez znalosti souřadnic rohů mapových listů v současném souřadnicovém systému, existuje v současnosti několik možností, jak k tomuto problému přistoupit.

2.1 Globální transformační metody

Tento způsob byl již částečně nastíněn v odstavci 1.2. Nejobecnějším způsobem je vytvořit přesnou globální transformační metodu pro převod souřadnic ze systému použitého v mapách do některého ze současných systémů. Základem této metody je vyhledání a otestování seznamu identických bodů (tedy bodů, pro které jsou známy souřadnice v obou souřadnicových systémech). Velmi často se jedná o body původní triangulační sítě, které byly využity i při budování nových systémů. Tyto body mají zpravidla vyrovnané souřadnice v obou systémech a je možno je použít jako identické. Důležité je však otestování, zda nedošlo ke změně stabilizace či posunu bodu. Identické body je pak možné využít v přibližné transformaci (zpravidla se jedná o Helmertovu prostorovou transformaci). Po této transformaci je možné dále zvýšit přesnost využitím nereziduální transformace („dotransformace“) na vyrovnání odchylek na identických bodech. V praxi se nejvíce používá metoda inverzních vzdáleností (IDW), případně Thin Plate Spline transformace (TPS). Celkově se tedy globální transformační metoda skládá z přibližné Helmertovy transformace a „dotransformace“ odchylek. Tato metoda byla použita pro transformaci souřadnic Stabilního katastru do současného systému S-JTSK (Čada, 2003). Pro georeferencování map v tomto souřadnicovém systému (katastrální mapy, mapy II. vojenského mapování) je možné pomocí této globální metody vypočítat souřadnice rohů mapových listů v současném systému a ty pak použít pro vlastní transformaci mapových listů. Pro automatizaci výpočtu bývá vhodné „dotransformaci“ nahradit pravidelnou sítí odchylek vypočtenou zmíněnými metodami (IDW, TPS). V této pravidelné síti je pak možné přímo interpolovat hodnoty odchylek v rámci zájmového území. Softwarově toto řeší řada GIS produktů jako úlohu s názvem „Grid based transformation“.

2.2 Transformace po mapových listech a průměrování

V případě, že nemáme k dispozici materiál či čas pro odvození globální transformační metody, nastupují jednodušší metody georeferencování. Jak bylo v úvodu naznačeno, při transformaci samostatných mapových listů dochází k tomu, že hrany sousedních mapových listů „nesedí“ přesně na sebe. Ať je použita jakákoliv transformační metoda (podobnostní, afinní, polynomická), je potřeba nasbírat v mapě dostatek identických bodů a ty použít pro transformaci. Jako identické body jsou zde zpravidla použity trvalé objekty (kostely, stavení, kříže), velmi problematické bývá použití přírodních objektů. Po transformaci pak zjišťujeme drobný posun či pootočení sousedních listů. Zde je možné využít průměrování souřadnic rohů mapových listů. Pokud je roh zobrazen na 4 mapových listech, jeho výsledné souřadnice je možné určit jako průměr souřadnic určených ze samostatných transformací mapových listů.

Hodnoty vstupující do průměru je dokonce možné váhovat vzhledem k středním chybám transformací jednotlivých listů. Výsledkem jsou pak průměrované souřadnice mapových listů, které jsou využity pro vlastní přesné georeferencování. Jako tyto průměrované body je možné využít nejen rohů mapových listů, ale i bodů na společných rámech map tak, aby docházelo k návaznostem mapové kresby.

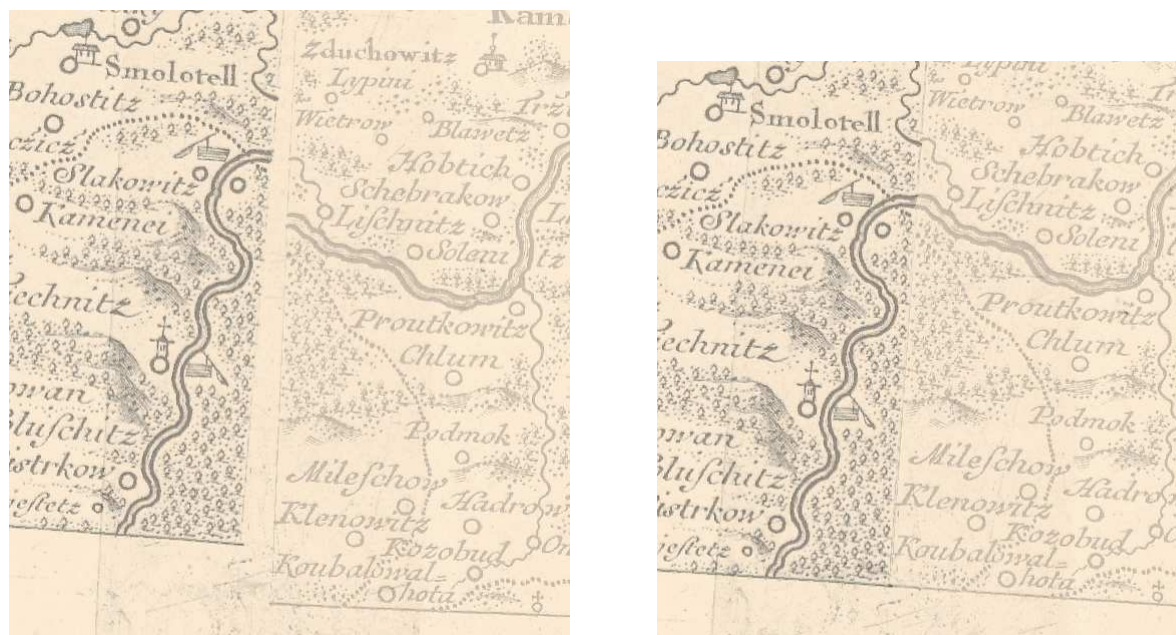
2.3 Transformace spojených mapových listů

Pro transformaci pouze malého počtu mapových listů je možné také postupovat tak, že před samotným georeferencováním dojde ke grafickému spojení mapových listů do jednoho obrazu. Georeferencování je pak pouze jeden obraz a není tedy nutné řešit návaznosti na styku mapových listů. Zde jsme bohužel omezeni zejména velikostí výsledného rastrového souboru a dále také pracností grafického spojení jednotlivých listů.

3. Nově navržený způsob georeferencování

Nově navržená metoda je založena na společném vyrovnání transformačních koeficientů všech mapových listů. Do tohoto vyrovnání zároveň vstupují takové podmínky, aby po transformaci sousedních mapových listů byla společná hrana zobrazena totožně. Ta dokonce není omezena pouze lineárním tvarem, ale může se jednat i o křivku. To je využitelné pro polynomické transformace 2. a 3. stupně využívané někdy pro transformace starých map.

Celkový postup je následující. Na všech mapových listech jsou vyhledány identické body se souřadnicemi v obou systémech (pixelové souřadnice v rámci mapy a souřadnice v současném souřadnicovém systému). Dále jsou odečteny souřadnice všech rohů mapových listů v systému mapy.



Obr. 1 Müllerova mapa transformovaná po mapových listech (vlevo) a s vyrovnáním (vpravo)

Poté je sestavena matice plánu pro vyrovnání zprostředkujících měření - všech koeficientů transformací mapových listů. Podle typu transformace je pro každý list určován příslušný počet parametrů (4 parametry pro podobnostní transformaci, 6 parametrů pro afinní transformaci, 12 parametrů pro polynom 2. stupně, atd.). Matice bude mít počet sloupců roven celkovému počtu určovaných parametrů, počet řádek bude odpovídat celkovému počtu měření (pro každý identický bod zde jsou 2 měření – pro každou souřadnici zvlášť). Takto získaná matice je doplněna submaticemi pro metodu vyrovnání měření zprostředkujících s podmínkami (Böhm a kol., 1990). Podmínky jsou definovány na základě transformovaných souřadnic rohů mapových listů, případně na základě transformovaných parametrických křivek definujících rámy map.

Výsledkem vyrovnání jsou hodnoty parametrů pro transformace všech mapových listů. Po aplikování těchto parametrů a příslušných transformací na mapové listy dojde k vytvoření souvislého obrazu, který splňuje definované podmínky návaznosti sousedních mapových listů. Výsledek a porovnání je vidět na Obr. 1.

Závěr

Nově navržená metoda georeferencování vícelistových mapových děl je vhodná pro staré mapy, které byly vytvořeny v souřadnicovém systému, pro který neexistuje přesná globální transformační metoda. Její použití je efektivní a umožní rychlejší vytvoření souvislé mapy zájmového území. Uplatní se zejména tam, kde potřebujeme rychle vytvářet bezešvé mapové podklady pro tematické úkoly. Jako velmi vhodné se jeví její použití na soubor I. vojenského mapování Rakouska-Uherska, které nebylo doposud vhodně georeferencováno.

Příspěvek byl podpořen grantem GA ČR 205/09/P102 Komplexní studium, analýza a zpřístupnění Müllerových map Čech a Moravy pomocí technologie GIS.

Seznam bibliografických odkazů

- ČADA, V. (2003). *Robustní metody tvorby a vedení digitálních katastrálních map v lokalitách sáhových map*. Habilitační práce, ČVUT v Praze, 2003.
- KOSTELECKÝ, J., KOSTELECKÝ, J. Jr., PEŠEK I. (2010). *Metodika převodu mezi ETRF2000 a SJTSK, varianta 2*. Zdíby: VÚGTK, v.v.i., 2010. 10 s.
- BÖHM, J., RADOUCH, V., HAMPACHER, M. (1990). *Teorie chyb a vyrovnávací počet*. GKP Praha, 1990.