

Detekce kartografického zobrazení z množiny bodů, praktické zkušenosti

Tomáš Bayer

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 120 78, Praha 2, Česká republika, bayertom@natur.cuni.cz

Abstrakt

Článek se zabývá praktickým postupem detekce kartografického zobrazení z množiny bodů využívajícím výpočet vlastních čísel nad jednotlivými Voronoiovými buňkami sestrojenými nad touto množinou. Vlastní analýza je provedena porovnáním množin vstupních bodů (s různými geometrickými parametry) s odpovídajícími množinami bodů v několika kartografických zobrazeních. Postup je prakticky ilustrován na 6 množinách srovnávaných s 16 kartografickými zobrazeními.

1 Úvod

Principem metody detekce kartografického zobrazení z množiny bodů popsané předchozím článkem je srovnání parametrů buněk Voronoiova diagramu této množiny s buňkami Voronoiova diagramu (VD) nad odpovídající množinou bodů (jejich obrazů) v analyzovaném kartografickém zobrazení. Postup vychází z myšlenky, že podobné množiny bodů generují podobné VD. Cílem metody je nalezení co nejpodobnější dvojice VD nad množinou analyzovaných bodů a množinou jim odpovídajících bodů v kartografickém zobrazení.

1.1 Množina vstupních bodů

Množina vstupních bodů je ovlivněna použitým kartografickým podkladem, jehož kartografické zobrazení se snažíme určit. Parametry množiny P zřejmě ovlivňují výsledky analýzy. Jako důležitá se jeví volba počtu bodů N , jejich rozložení, velikost území a přesnost znázornění bodů v mapě. Pokusíme se ukázat závislost úspěšnosti detekce kartografického zobrazení na těchto parametrech. Vzhledem k rozsahu příspěvku se nebude jednat o podrobnou analýzu problému, ale spíše o naznačení principů a vzájemných závislostí jednotlivých parametrů.

Typy kartografických podkladů. Pro provádění analýz byly použity dva typy kartografických podkladů. První z nich byl k dispozici přímo v digitální formě, druhý v analogové formě:

1. Soubor souřadnic x, y uzlových bodů zeměpisné sítě

(popř. jiných bodů) v rovině kartografického zobrazení.

2. Souřadnice x, y uzlových bodů zeměpisné sítě analogového mapového podkladu v rovině kartografického zobrazení.

První množina bodů byla pořízena výpočtem, autor použil vlastní program WinKart. Druhá množina vznikla digitalizací analogového mapového podkladu, který byl do elektronické formy převeden skenováním. Chyba ze skenování nebyla do dalších výpočtů promítnuta, skener byl považován za bezchybný. Z prvního kartografického podkladu byly získány jak body s pravidelným rozložením ve formě rastru (kroky $\Delta\varphi = konst$ a $\Delta\lambda = konst$), tak body nepravidelně rozložené. Z druhého kartografického podkladu byly získány pouze body s pravidelným rozložením.

Parametry množin bodů. K vlastní analýze bylo použito k množin P , v dalším textu označených jako $P^{(k)}$, a jim odpovídajících množin $Q^{(k,j)}$ v j kartografických zobrazeních. Vzájemně se lišily svými geometrickými parametry: počtem bodů N , polohou na referenční ploše, velikostí území (představovanou plochou min-max boxu nad P), přesností určení. Velikost území lze pro naše účely lépe vyjádřit jako poměr obsahu min-max boxu vztážený k celkovému obsahu referenční plochy. Z hlediska numerického vyjádření je vhodnější pracovat s obrazy, tj. poměr p lze vyjádřit jako $p = \frac{S_{min-max}}{S_{ref}}$, kde hodnota $S_{min-max}$ představuje obsah min-max boxu v obraze kartografického zobrazení, S_{ref} obsah referenční plochy v obraze kartografického zobrazení. Chybu, které

se tímto postupem dopustíme, lze zanedbat. Hodnoty poměru p nepotřebujeme znát s příliš velkou přesností. Z důvodu jednoduchosti výpočtu je vhodné hodnoty $S_{min-max}, S_{ref}$ uvádět ve válcovém ekvivalentním zobrazení. Pokud jsou body rozloženy pravidelně ve formě rastru, hodnota koeficientu p je funkcí kroků $\Delta\varphi, \Delta\lambda$, počtu bodů N a souřadnic bodů φ, λ . Přehled těchto parametrů pro jednotlivé množiny P použité v tomto článku nalezneme v tab 1.

Situace $P^{(1)} - P^{(2)}$ představují území rozložené symetricky kolem rovníku s velkou rozlohou. První varianta využívá kroky $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 10^\circ$, druhá varianta poloviční krok $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 5^\circ$, jedná se o pravidelný rastr. Situace $P^{(3)} - P^{(4)}$ představují území ležící ve středních zeměpisných šířkách s výrazně menší rozlohou reprezentované pravidelným rastrem s kroky $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 2^\circ$ a $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 0.5^\circ$. Množiny $P^{(1)}, P^{(2)}$ a $P^{(3)}, P^{(4)}$ popisují totéž území, pouze krok rastru je různý. Situace $P^{(5)}$ představuje nepravidelně rozloženou množinu bodů nacházejících se pouze na hranici analyzovaného území (hranice České republiky). O krocích $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ zde nemůžeme hovořit, vzdálenost dvou sousedních bodů činí cca 0.002° .

Postup naplnění množin bodů P a Q . Aby bylo možno lépe otestovat úspěšnost detekce kartografického zobrazení, analyzované kartografické zobrazení bylo ve všech případech předem známé. Postup tedy využívá srovnání množiny bodů známého kartografického zobrazení s množinami odpovídajících bodů (obrazů) v m různých kartografických zobrazeních, $j = 1, \dots, m$, (ve kterých je analyzované zobrazení také obsaženo). V tomto případě $m = 16$. Pokud byly body rozloženy pravidelně, tvořily uzly sítě poledníků a rovnoběžek. Představovaly tedy rastr s předem zvolenými hodnotami kroků $\Delta\varphi, \Delta\lambda$, počtem bodů N a zeměpisných souřadnic φ, λ .

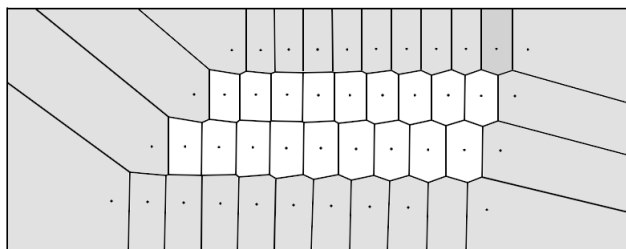
- Množina P představující body analyzovaného kartografického zobrazení vznikla výpočtem souřadnic $[x_i, y_i], i = 1, \dots, N$, ze souřadnic $[\varphi_i, \lambda_i]$ dosazených do zobrazovacích rovnic tohoto kartografického zobrazení. Výpočet byl realizován za použití dvou vnořených cyklů. Aby nebyla tato množina bodů zcela totožná s později určenou množinou Q , místo jednotkové koule byla použita referenční koule $R = 1000\text{m}$ s následným zaokrouhlením souřadnic na metry.
- Každé množině $P^{(k)}$ odpovídají množiny $Q^{(k,1)} - Q^{(k,m)}$. Tyto množiny vznikly výpočtem souřadnic $[x'_i, y'_i]$ ze souřadnic $[\varphi_i, \lambda_i]$ "stejných bodů" v m kartografických zobrazeních.

¹Tvary zobrazovacích rovnic byly zjednodušeny za použití příkazu `simplify`, nejsou tedy v obvykle známých tvarech uváděných v kartografických publikacích.

Pokud byly body rozloženy nepravidelně, postup výpočtu byl analogický. Hodnoty $[\varphi_i, \lambda_i]$ jsou známy, nemusí být určovány s použitím cyklu. Při naplňování množin P a Q náležících dle (1.1) do druhé skupiny jsme postupovali takto:

- Souřadnice bodů množiny P byly určeny kartometrickou digitalizací uzlových bodů poledníků a rovnoběžek z naskenovaného kartografického podkladu. U těchto bodů byly současně odečteny jejich zeměpisné souřadnice $[\varphi_i, \lambda_i]$.
- Souřadnice bodů množin $Q^{(k,1)} - Q^{(k,m)}$ vznikly dosazením $[\varphi_i, \lambda_i]$ do jejich zobrazovacích rovnic.

Pokud je v analyzovaném kartografickém díle uvedeno kartografické zobrazení, porovnáváme množiny $Q^{(k,1)} - Q^{(k,m)}$ s množinou $P^{(k)}$.



Obrázek 1: Voronoi diagram testovací množiny bodů P .

1.2 Použitá kartografická zobrazení

Pro testování byla použit soubor 16 kartografických zobrazení. Byl volena tak, aby obsahoval nejčastěji používané zástupce jednotlivých skupin kartografických zobrazení používaných zejména pro mapy malých a středních měřítek: zobrazení jednoduchá, zobrazení nepravá, zobrazení polykónická. Podrobný popis kartografických parametrů těchto zobrazení lze nalézt v následující kapitole. Podrobný popis kartografických parametrů těchto zobrazení lze nalézt v následující kapitole.

Přehled zobrazovacích rovnic. Pro použitá kartografická zobrazení uvedeme zobrazovací rovnice ¹. Symbol 1NR představuje jednu nezkreslenou rovnoběžku se zeměpisnou šířkou φ_0 .

Válcové ekvidistantní zobrazení:

$$\begin{aligned} x &= R\lambda, \\ y &= R\varphi. \end{aligned}$$

Válcové ekvivalentní zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= R\lambda, \\y &= R\sin\varphi.\end{aligned}$$

Válcové konformní zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= R\lambda, \\y &= R\ln\left(\tan\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4}\right).\end{aligned}$$

Kuželové ekvidistantní zobrazení (1NR):

$$\begin{aligned}x &= \frac{R}{\tan\varphi_0}(1 + (-1 + (-\varphi_0 + \varphi)\tan\varphi_0)) \cdot \\&\quad \cdot \cos(\lambda\sin\varphi_0), \\y &= -\frac{R}{\tan\varphi_0}(-1 + (-\varphi + \varphi)\tan\varphi)\sin(\lambda\sin(\varphi)).\end{aligned}$$

Kuželové ekvivalentní zobrazení (1NR):

$$\begin{aligned}x &= -\frac{R}{\sin\varphi_0}(-\cos\varphi_0 + \\&\quad + \sqrt{-\cos^2\varphi_0 + 2 - 2\sin\varphi_0\sin\varphi} \cdot \cos(\lambda\sin\varphi_0)) \\y &= \frac{R}{\sin\varphi_0}\sqrt{-\cos^2\varphi_0 + 2 - 2\cos\varphi_0\sin\varphi} \cdot \\&\quad \cdot \sin(\lambda\sin\varphi_0).\end{aligned}$$

Kuželové konformní zobrazení (1NR):

$$\begin{aligned}x &= -\frac{R}{\tan\varphi_0}\left(-1 + \left(\frac{\tan(\frac{\varphi_0}{2} + \frac{\pi}{4})}{\tan(\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4})}\right)^{\sin\varphi_0}\right) \cdot \\&\quad \cdot \cos(\lambda\sin\varphi_0), \\y &= \frac{R}{\tan\varphi_0}\left(\frac{\tan(\frac{\varphi_0}{2} + \frac{\pi}{4})}{\tan(\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4})}\right)^{\sin\varphi_0} \sin(\lambda\sin\varphi_0).\end{aligned}$$

Azimutální ekvidistantní zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= R\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)\cos\lambda, \\y &= R\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)\sin\lambda.\end{aligned}$$

Azimutální ekvivalentní zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= 2R\sin\frac{\pi - \varphi}{2}\cos\lambda, \\y &= 2R\sin\frac{\pi - \varphi}{2}\sin\lambda.\end{aligned}$$

Azimutální konformní zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= 2R\tan\frac{\pi - \varphi}{2}\cos\lambda, \\y &= 2R\tan\frac{\pi - \varphi}{2}\sin\lambda.\end{aligned}$$

Bonneovo zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= \frac{R}{\tan\varphi_0}(1 + (\varphi_0 - \varphi)\tan\varphi_0 \cdot \\&\quad \cdot \sin\frac{\lambda\cos\varphi}{\cot\varphi_0 + \varphi_0 - \varphi}), \\y &= \frac{R}{\tan\varphi_0}(-1 + (1 + (\varphi_0 - \varphi)\tan\varphi_0) \cdot \\&\quad \cdot \cos\frac{\lambda\cos\varphi}{\cot\varphi_0 + \varphi_0 - \varphi}).\end{aligned}$$

Hammerovo zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= \frac{2\sqrt{2}R\cos\varphi\sin\frac{\lambda}{2}}{\sqrt{1 + \cos\varphi\cos\frac{\lambda}{2}}}, \\y &= \frac{\sqrt{2}R\sin\varphi}{\sqrt{1 + \cos\varphi\cos\frac{\lambda}{2}}}.\end{aligned}$$

Mollweidovo zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= \frac{2\sqrt{2}}{\pi}R\lambda\cos\varphi, \\y &= R\sqrt{2}\sin\varphi.\end{aligned}$$

Mercator-Sansonovo zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= R\lambda\cos\varphi, \\y &= R\varphi.\end{aligned}$$

Werner-Staabovo zobrazení:

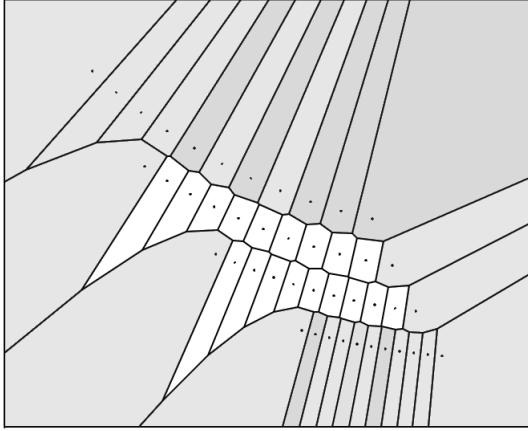
$$\begin{aligned}x &= R\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)\sin\left(\frac{\lambda\cos\varphi}{\frac{\pi}{2} - \varphi}\right), \\y &= R\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)\cos\left(\frac{\lambda\cos\varphi}{\frac{\pi}{2} - \varphi}\right).\end{aligned}$$

Urmaevovo zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= \frac{2}{3}R\sqrt[4]{3}\lambda\cos\left(\frac{1}{2}\arcsin(\varphi)\right) \\y &= \frac{3}{2}R\sqrt[4]{3}(\arcsin(\varphi))\end{aligned}$$

Hasslerovo zobrazení:

$$\begin{aligned}x &= \frac{R}{\tan\varphi}(1 - \cos(\lambda\sin\varphi) + \varphi\tan\varphi), \\y &= \frac{R}{\tan\varphi}\sin(\lambda\sin\varphi).\end{aligned}$$



Obrázek 2: Voronoi diagram odpovídající množiny Q v Hasslerově zobrazení.

Parametry kartografických zobrazení. Volba parametrů kartografického zobrazení je závislá na množině vstupních bodů. Pro množiny $P^{(1)}, P^{(2)}, P^{(6)}$ byly použity normální i obecná poloha kartografického zobrazení, v ostatních případech pouze normální poloha zobrazení. Vzhledem k poloze území mohly být parametry některých kartografických zobrazení voleny optimálněji, na výsledek analýzy tento fakt nemá zřejmě významnější vliv.

- Množiny $P^{(1)}, P^{(2)}$

Válcové zobrazení: kartografický pól $Q = [0^\circ, 210^\circ]$, 1NR $\varphi_0 = 0^\circ$; kuželové zobrazení $Q = [0^\circ, 120^\circ]$, 1NR $\varphi_0 = 30^\circ$; azimutální zobrazení $Q = [0^\circ, 120^\circ]$.

- Množiny $P^{(3)} - P^{(5)}$

Všechna zobrazení v normální poloze. Válcová zobrazení 1NR $\varphi_0 = 0^\circ$, kuželová zobrazení 1NR $\varphi_0 = 40^\circ$.

- Množina $P^{(6)}$

Válcové zobrazení v normální poloze, 1NR $\varphi_0 = 0^\circ$; kuželové zobrazení $Q = [-90^\circ, 0^\circ]$, 1NR $\varphi_0 = -40^\circ$; azimutální zobrazení $Q = [-90^\circ, 0^\circ]$.

2 Určení míry identity.

Další krok představuje posouzení míry identity množin P a Q . Vzhledem k charakteru vstupních dat u množin $P^{(1)} - P^{(5)}$ (získány výpočtem stejného souboru bodů $[\varphi_i, \lambda_i]$), u kterých s výjimkou zaokrouhlovacích chyb nepředpokládáme výskyt dalších systematických či náhodných chyb, nebudeme určení míry identity provádět. U

množiny $P^{(6)}$ byl výpočet míry identity proveden za použití Helmertovy, afinní, kvadratické a kubické transformace. Maximální hodnoty odchylek mezi oběma množinami bodů, přepočtené na pixely, jsou uvedeny v tab. ???. Z tabulky je patrné, že mezi oběma množinami není lineární vztah. Hodnoty souřadnic zřejmě také nejsou zatíženy hrubými chybami.

3 Konstrukce VD a jejich selekce

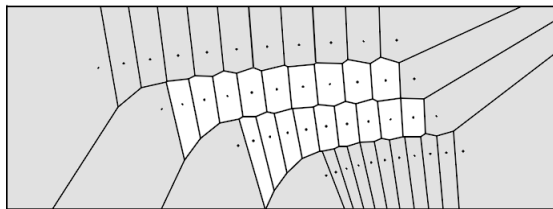
Konstrukce VD je prováděna inkrementálním algoritmem v souladu s postupem publikovaným v první části tohoto článku. Vzhledem k maximálnímu počtu dat $N \doteq 1500$ se doba výpočtu parametrů VD včetně konverze do formátu DXF pohybovala v řádech s ($t < 10s$). Pro větší soubory dat by algoritmus bylo možno implementovat efektivněji, či využít některý z běžně dostupných open-source knihoven geometrických algoritmů. Před vlastní konstrukcí je nutno z množin P a Q odstranit identické body.

Následovala selekce dvojic buněk $V(P_i)$ a $V(Q_i)$ takových: jejichž generátory P_i, Q_i ležely na konvexní obálce nebo jejichž počet hran byl různý nebo jejichž tvary byly výrazně odlišné (tj. nesplňovaly dle 2.6 uvedená geometrická kritéria). Důležitým faktorem je počet odstraněných buněk $V(P_i)$ a $V(Q_i)$, který by měl být menší než cca. $\frac{4}{5}N$. Počet zbylých buněk $V(P_i)$ a $V(Q_i)$ označíme N' . Relativní počet zachovaných buněk $\frac{N'}{N}$ pro jednotlivé varianty množin je uveden v tab. 3. Kartografická zobrazení jsou označena zkratkami.

| Zobr. | $P^{(1)}$ | $P^{(2)}$ | $P^{(3)}$ | $P^{(4)}$ | $P^{(5)}$ | $P^{(6)}$ |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| VED | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.35 | 0 |
| VEV | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.27 | 0 |
| VKO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.95 | 0 |
| KED | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.60 | 0 |
| KEV | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.92 | 0 |
| KKO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.97 | 0 |
| AED | 0.41 | 0.65 | 0 | 0 | 0.65 | 0 |
| AEV | 0.41 | 0.66 | 0 | 0 | 0.56 | 0 |
| AKO | 0.10 | 0 | 0 | 0 | 0.97 | 0 |
| BON | 0.31 | 0.55 | 0.63 | 0.80 | 0.90 | 0.27 |
| WER | 0.22 | 0.54 | 0.70 | 0.83 | 0.76 | 0.32 |
| HAM | 0.47 | 0.67 | 0.57 | 0.75 | 0.42 | 0.14 |
| MER | 0.53 | 0.73 | 0.56 | 0.75 | 0.49 | 0.16 |
| MOL | 0.51 | 0.70 | 0.56 | 0.75 | 0.49 | 0.16 |
| URM | 0.43 | 0.67 | 0.56 | 0.75 | 0.33 | 0.23 |
| HAS | 0.14 | 0.47 | 0.64 | 0.80 | 0.88 | 0.32 |

Tabulka 3: Relativní počet zachovaných VD pro jednotlivé varianty P .

Množiny P , u kterých je zachován dostatečný počet $V(P)$ k analýze, $N' > \frac{N}{5}$, jsou v tabulce znázorněny kurzívou.



Obrázek 3: Voronoi diagram odpovídající množiny Q v Bonneově zobrazení.

Podíváme-li se podrobněji na hodnotu poměru $\frac{N'}{N}$ u jednotlivých množin $P^{(i)}$, všimneme si, že je tato hodnota v pěti ze šesti případů největší u kartografického zobrazení, které bylo následně detekováno jako zobrazení analyzovaného kartografického podkladu. Hodnoty poměru se zřejmě zvyšují i s rostoucím počtem bodů N , buňky $V(P_i)$ a $V(Q_i)$ jsou si vzájemně “podobnější”. Všimneme si tohoto faktu u množin $P^{(1)}, P^{(2)}$ a $P^{(3)}, P^{(4)}$ představujících “totéž území”. Jedná se o důsledek snížení velikostí kroků $\Delta\varphi$ a $\Delta\lambda$ vedoucí ke vzniku jemnějšího rastru; Voronoiovy buňky nad tímto rastrem jsou v obou množinách “podobnější”.

V dalším kroku provedeme převod zbylých Voronoiových buněk na úplně orientované grafy. Pro každou dvojici buněk $V(P_i)$ a $V(Q_i)$ tedy určíme matice W_{P_i} a W_{Q_i} . Přesnost výpočtu hodnot w_{ij} závisí na velikosti analyzovaného území. Čím je velikost území menší, tím přesněji je třeba hodnoty w_{ij} určit. V praxi postačuje uvádět je s relativní přesností cca $1 \cdot 10^{-6}$.

3.1 Výpočet testovacího kritéria

Výpočet testovacího kritéria α byl podrobně popsán v předcházející části článku. Připomeňme, že vychází ze vzorce

$$\alpha = \sqrt{\frac{t_Q}{t_P}}.$$

Množiny P, Q mohou obsahovat numericky značně odlišné hodnoty, je proto vhodné před výpočtem testovacího kritéria provést alespoň jejich přibližné znormování. Přibližné normalizační kritérium $|q|$ lze stanovit jako

$$|q| = \frac{\sum_{i=1}^{N'} \frac{t_Q^i}{t_P^i}}{N'}.$$

Upravená matice α' má prvky

$$\alpha' = \sqrt{\frac{t_Q}{|q| t_P}}$$

Vlastní výpočet testovacího kritéria m'_α provedeme ze vztahu

$$m'_\alpha = \sqrt{\frac{\sum v'_\alpha v'_\alpha}{N' - 1}} \quad (1)$$

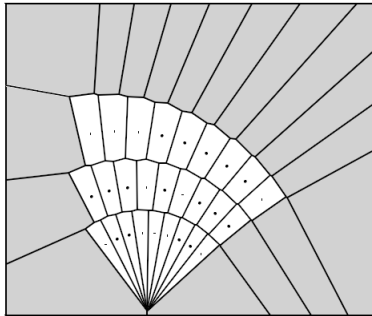
Připomeňme, že pokud neexistuje žádné $V(P_i)$ a $V(Q_i)$ se stejným počtem hran, je hodnota testovacího kritéria $m'_\alpha = \infty$. Přehled hodnot kritérií m'_α pro jednotlivé množiny P nalezneme v tab. 4.

| Zobr. | $P^{(1)}$ | $P^{(2)}$ | $P^{(3)}$ | $P^{(4)}$ | $P^{(5)}$ | $P^{(6)}$ |
|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| VED | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 318.2 | ∞ |
| VEV | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 543.5 | ∞ |
| VKO | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 0 | ∞ |
| KED | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 79.4 | ∞ |
| KEV | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 18.7 | ∞ |
| KKO | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 18.2 | ∞ |
| AED | 15.8 | 26.4 | ∞ | ∞ | 67.7 | ∞ |
| AEV | 13.7 | 26.6 | ∞ | ∞ | 100.5 | ∞ |
| AKO | 11.1 | ∞ | ∞ | ∞ | 25.3 | ∞ |
| BON | 64.9 | 39.8 | 3.3 | 3.6 | 24.3 | 924.9 |
| WER | 16.3 | 52.8 | 0 | 0 | 43.6 | 950.3 |
| HAM | 62.4 | 23.1 | 134.7 | 8.3 | 201.2 | 37.4 |
| MER | 0.8 | 2.0 | 1.7 | 1.8 | 190.0 | 28.3 |
| MOL | 20.6 | 25.8 | 27.3 | 30.2 | 185.2 | 83.4 |
| URM | 23.6 | 36.0 | 13.1 | 14.4 | 310.5 | 13.5 |
| HAS | 122.1 | 151.9 | 9.3 | 7.7 | 23.7 | 960.5 |

Tabulka 4: Hodnoty kritérií m'_α pro jednotlivá P .

Srovnáním hodnot m'_α zjistíme, že detekce kartografického zobrazení proběhla úspěšně ve všech šesti případech. U množin $P^{(1)}, P^{(2)}$ se hodnota $\min(m'_\alpha)$ blíží k nule. Souřadnice x_i, y_i bodů těchto množin byly při výpočtu zaokrouhleny na celá čísla. Shoda obou množin tedy není “úplná”, obě množiny jsou “velmi podobné” množině $Q^{(1,13)}, Q^{(2,13)}$ Mercator-Sansonova zobrazení. Hodnota $\min(m'_\alpha)$ je rovna nule u množin $P^{(3)}, P^{(4)}$, které jsou až na konstantu (jiný poloměr referenční plochy) shodné s množinami $Q^{(3,11)}, Q^{(4,11)}$ Werner-Staabova a válcového konformního zobrazení. Nejvyšší odchylku od “nuly” vykazuje hodnota $\min(m'_\alpha)$ u množiny $P^{(6)}$, která byla pořízena digitalizací rastrového podkladu. Souřadnice jsou zřejmě zatíženy náhodnými i systematickými chybami (chyba zobrazení, chyba ze srážky mapového listu, chyba z digitalizace, atd...). Tyto chyby však byly natolik malé, že neovlivnily proces detekce kartografického zobrazení, viz tab. ???. I v tomto případě bylo Urma-

evovo zobrazení úspěšně detekováno. Značné rozdíly mezi hodnotami $\min(m'_\alpha)$ se projevily u množin $P^{(1)}, P^{(2)}$ a $P^{(3)}, P^{(4)}$ zejména u Hammerova a Werner Staabova zobrazení, kde zjemněním kroků $\Delta\varphi$ a $\Delta\lambda$ došlo ke generování “podobnějších” buněk $V(P_i)$ a $V(Q_i)$.



Obrázek 4: Voronoi diagram odpovídající množiny Q v Hammerově zobrazení.

Grafické znázornění VD pro jednotlivé vstupní množiny bodů s provedenou selekcí příslušných buněk nalezneme na obr. 1 - 4. Všimněme si značné odlišnosti tvarů VD, které usnadňuje proces analýzy.

Reference

- [1] Hebák P.: Vícerozměrné statistické metody, Informatorium, 2005, Praha.
- [2] Buchar P., Hojovec V.: Matematická kartografie, Vydavatelství ČVUT, 1996, Praha.
- [3] Rourke O. J.: Computational Geometry in C, Cambridge University Press, 2005.

4 Závěr

Tento článek se zabýval praktickým postupem detekce kartografického zobrazení z množiny bodů metodou analýzy parametrů Voronoiova diagramu sestrojeného nad touto množinou bodů. Dosažené výsledky naznačují že metoda vykazuje poměrně značnou invarianci testovacího koeficientu vzhledem k počtu bodů, jejich rozložení na referenční ploše a velikosti analyzovaného území. Podmínkou úspěšné detekce je požadavek, aby plocha, na které se nachází analyzovaná množina bodů, byla větší než cca 100km^2 . To znesnadňuje provádění detekce na velkoměřítkových mapových podkladech. Úspěšnost analýzy bude nižší v blízkém okolí singulárních bodů (tj. zeměpisných a kartografických) pólů, podél základních poledníků či rovnoběžek zvolených pro znázornění území s minimálními deformacemi. Ve většině kartografických zobrazení bude obraz tohoto území “velmi podobný”. Správnost všech předpokladů je však nutno potvrdit dalšími analýzami.

5 Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu grantu GAČR č. 205/04/088 s názvem “Kartometrická a semiotická analýza a vizualizace starých map českých zemí z období 1518-1720”.