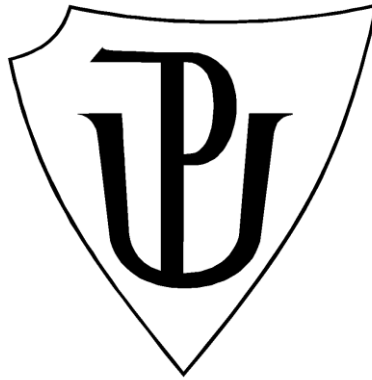


Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky



Bc. Marek FEKIAČ

VYUŽITÍ SHLUKOVÁNÍ V ANALÝZE DAT Z EYE TRACKING SYSTÉMU

Diplomová práce

Vedoucí práce: Doc. Mgr. Jiří Dvorský, Ph.D.

Olomouc 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci magisterského studia oboru Geoinformatika vypracoval samostatně pod vedením Doc. Mgr. Jiřího Dvorského, Ph.D.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 18. dubna 2013

Děkuji Doc. Mgr. Jiřímu Dvorskému, Ph.D. za pomoc a ochotu při řešení všech problémů. Děkuji také za připomínky při zpracování mé diplomové práce.

OBSAH

OBSAH.....	1
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	3
ÚVOD	4
1 CÍLE PRÁCE	5
2 EYE TRACKING A OČNÍ POHYBY	6
2.1 Oční pohyby	6
2.2 Fixační a sakádické pohyby.....	6
3 FIXAČNÍ ALGORITMY	9
3.1 I-DT	9
3.2 I-MST	9
3.3 I-VT	10
3.4 I-HMM	10
3.5 I-KF	11
3.6 Efekty nastavení	12
3.7 Metody porovnání algoritmů	13
4 KONVERZE DAT A TESTOVÁNÍ ALGORITMŮ	16
4.1 Konverze dat do úhlového systému.....	16
4.2 Eye movement classification software	17
4.3 Konverze dat do pixelového systému a vizualizace	19
4.4 Testování algoritmů, použitá data a software	20
4.4.1 První testovaná mapa	21
4.4.2 Druhá testovaná mapa.....	24
4.4.3 Třetí testovaná mapa	26
4.5 Srovnání se softwarem SMI BeGaze.....	31
5 POZOROVANÁ ZJIŠTĚNÍ.....	34

5.1 Charakteristické rysy algoritmů	34
5.2 Nejvhodnější algoritmus.....	35
6 DISKUZE.....	36
7 ZÁVĚR.....	37
8 POUŽITÉ ZDROJE.....	38
8.1 Knihy	38
8.2 Odborné časopisy	38
8.3 Sborníky	38
8.4 Internetové zdroje	38
SUMMARY	40
SEZNAM PŘÍLOH.....	41

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
ASL	Applied science laboratories
ET	Eye tracking
GIMP	GNU image manipulation program
I-AOI	Area of interest identification
I-DT	Dispersion-threshold identification
I-HMM	Hidden Markov model identification
I-KF	Kalman filter identification
I-MST	Minimum spanning tree identification
I-VT	Velocity-threshold identification
MATLAB	Matrix laboratory
SMI	Sensomotoric instruments

ÚVOD

Eye tracking představuje výzkumný nástroj, který nabývá na popularitě napříč obory. Jedná se o technologii založenou na sledování pohybu lidského oka. Původně vznikl jako vojenský nástroj, který našel uplatnění při automatickém navádění střelných raket vrtulníků pomocí pilotova pohledu. Později našel uplatnění i v ostatních disciplínách, zejména marketingu či webdesignu. Veškeré pohyby jsou ukládány snímačem (eye-tracker) za vzniku obrovského množství dat. Tyto záznamy jsou podle mnoha charakteristik a algoritmů rozděleny na dva základní segmenty – fixace a sakády. Sakády jsou vnímány jako rychlé pohyby očí mezi místy, kam člověk upírá svou pozornost (fixace). Právě tato místa jsou předmětem této práce. Shluky, či shluková analýza nepředstavují nic jiného než množství přístupů a algoritmů, které tyto fixace spojují do většího celku – shluku.

Jaké přístupy lze použít? Které algoritmy jsou nejvhodnější pro řešení různých typů geografických úloh? Právě na tyto zmíněné otázky se tato práce pokusí nalézt odpovědi.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce je analýza časoprostorových dat získaných z eye tracking systému metodami shlukování. Je provedena rešerše zabývající se základní anatomií oka a očními pohyby, které mají velký vliv na analýzu dat. Součástí rešerše je také teoretická část vysvětlující základní principy klasifikačních algoritmů, včetně vlivů, které působí na činnost algoritmů. Tyto znalosti autor využívá při praktickém testování. Tato studie si klade za cíl vysvětlit a prezentovat rozdíly mezi odlišnými algoritmy. Na tuto skutečnost je kladen větší důraz, než na rozdíly způsobené odlišnými znaky testovaných osob. Informace získané z testování jsou zobrazeny tak, aby poskytly odpovědi na položené otázky. Na základě vizualizace jsou doporučeny metody pro různé typy geografických úloh.

K této diplomové práci jsou vytvořeny webové stránky umístěné na serveru Univerzity Palackého v Olomouci.

2 EYE TRACKING A OČNÍ POHYBY

2.1 Oční pohyby

Pro dokonalé pochopení všech principů eye tracking systému je nutné znát anatomii oka. Pro tuto práci však tyto údaje nepředstavují nezbytné informace. Pozornost bude upřena pouze na druhy pohybů lidského oka.

Na úvod této kapitoly je potřeba konstatovat, že lidské oko není nikdy v klidu. Základní poloha očí je ve vzpřímené poloze směrem dopředu, stejným směrem se pochopitelně ubírá i fixační osa oka, spojnice bodů, kam oko hledí (Punko, 2007).

2.2 Fixační a sakádické pohyby

Jedna ze základních funkcí oka je schopnost zaměřit (fixovat) se na určitý předmět. I když je oko pevně zafixováno na daný objekt, vykonává malé pohyby: tremor, mikrosakády a drift.

Tremor jsou drobné pohyby s frekvencí udávanou mezi 30 – 130 Hz, většinou však na horní hranici tohoto rozpětí. Jako příčina jsou uváděny neurologické poruchy různého původu. Často mají návaznost i na vážnější onemocnění jako je třes, roztroušená skleróza aj. V oblasti obličeje mají poměrně nízkou amplitudu (nejmenší z uvedených pohybů) a to 20“ – 30“ (Csekes, 2008).

Drift jsou klouzavé, pomalé pohyby očí s frekvencí menší než 0,5 Hz. Drifty dosahují úhlové rychlosti od 1 úhlové minuty za sekundu do 600 úhlových minut za sekundu. Při tomto pohybu dochází k posunutí předmětu z místa nejostřejšího vidění a je ukončen velmi rychlou mikrosakádou (Skopalík, 2004).

Mikrosakády jsou neperiodické rychlé pohyby oka s amplitudou 2‘ – 50‘ s trváním 10 – 20 ms. Jedná se o pohyby korekční, které kompenzují drift a mají tedy opačný směr (Csekes, 2008).

Sakády jsou nejrychlejší ze všech očních pohybů. Nastávají v okamžiku, kdy člověk prohlíží zorné pole. Následují po sobě s odstupem minimálně 150 ms (často s mnohem větším). V době, kdy oko vykonává sakádický pohyb, mozek potlačuje vizuální vjem, tzn., že rozmazání obrazu vlivem pohybu oka nevnímáme. Poměr fixací a sakád je přibližně 90% k 10%. Rychlost sakád je velmi různá, dosahuje hodnot až 700°/s.

Rozlišujeme několik hlavních typů sakád. Hladké sakády, které jsou pomalé s rychlostí max. $30^{\circ}/s$, vyhledávací sakády, které jsou nejrychlejší a kompenzační, které nastanou, pokud je pohyb oka vyvolán pohybem hlavy nebo těla (Švandová, 2013).

Pojmem fixace jsou obecně vnímány všechny zaznamenané pohyby oka právě v toku dat. Ve skutečnosti se jedná o soubor pravidel, kde je poměrně složité určit rozdíly mezi fixacemi detekovanými algoritmem a momenty „nehybnosti“. Existuje několik základních principů algoritmů, na základě kterých dochází k určení událostí:

1. Fixace jsou převážně určeny pomocí maximálního povoleného rozptylu, nebo rychlosti (změny). Časově oddělené vzorky musí být lokalizovány v prostorově vymezeném regionu (často $0.5^{\circ} - 2.0^{\circ}$ nebo 50-100 px) po minimální dobu (např. 50 – 250 ms).

2. Jako sakády jsou běžně brány ty části, kde se lidské oko rychle pohybuje. Sakády mají rozdílné nastavení prahů, ale obvykle je v rozsahu 30 – $100^{\circ}/s$ (rychlost) a 4000 - $8000^{\circ}/s$ (zrychlení).

3. Bezproblémové rozpoznání v současných implementacích neexistuje a zůstává jednou z hlavních výzkumných oblastí. Vytvoření robustního a obecného algoritmu pro daný účel zůstává nadále velkou výzvou. Současné algoritmy pracují zejména s rychlostí a směrem pohybu oka.

4. Systém umí také rozpoznat mrknutí oka. Souřadnice x a y mají buď nulovou hodnotu, nebo je průměr zornic nulový – to značí zavřená víčka.

Současné algoritmy neumí rozpoznat všechny typy událostí, většinou rozpoznají pouze jednu. Nejběžnější Identification by dispersion threshold algorithm (I-DT) zaznamenává pouze fixace a nerozděluje zbývající události. Jiné algoritmy zaznamenávají naopak pouze sakády. Celkově se existující metody mohou dělit do tří hlavních skupin:

- Rozptyl a dobu trvání využívají algoritmy založené na detekování fixací. Dále používají údaje o poloze a s tím spojený algoritmus. Algoritmy založené na tomto principu jsou hojně zastoupeny v běžných komerčních implementacích, např. Gazetracker, ASL EYENAL, nebo SMI BeGaze. Typicky jsou tyto výpočetní metody použity pro data nasbíraná eye-trackerem o malé frekvenci (pomalé eye-trackery).

- Druhou skupinou jsou algoritmy využívající zejména rychlost a zrychlení pro výpočty událostí. Příkladem společností, které zmíněný software dokáží vyrobit, mohou být Tobii nebo SMI. Pro použití těchto metod je zapotřebí výkonnějších zařízení, než tomu bylo v prvním případě (frekvence 200 Hz a více).
- Manuální detekce je souhrnný název pro poslední skupinu metod. Ve své podstatě se nejedná o algoritmus, vše záleží na subjektivitě uživatele (Holmqvist, Nystrom, 2011).

Mezi nejpoužívanější algoritmy patří zmíněný I-DT, dále I-VT (Velocity-threshold fixation identification), I-HMM (Hidden Markov model fixation identification), I-MST (Minimum spanning tree identification), I-KF (Kalman filter identification) a I-AOI (Area of interest identification).

3 FIXAČNÍ ALGORITMY

3.1 I-DT

Algoritmus I-DT bere v úvahu pouze prostorově blízké body v procesu očního sledování. Využívá toho, že body mají díky své pomalé rychlosti tendenci se shlukovat. Pro výpočet algoritmu je důležitý rozptyl bodů a stanovený práh tohoto rozptylu, na základě kterého se body zařazují či nezařazují do shluku. Hodnota prahu je ovlivněna také vzorkovací frekvencí, která je nejčastěji v rozmezí 60 – 120 Hz. Minimální hodnota by pak měla být 100 milisekund (Blignaut, 2009).

Algoritmus při výpočtu využívá plovoucí okno pro určitý počet záznamů v čase. Program funguje následovně: Při každém pohybu plovoucího okna je spočítán rozptyl D podle následující rovnice (1).

$$D = [\max(x) - \min(x)] + [\max(y) - \min(y)] \quad (1)$$

V okamžiku, kdy je hodnota D větší než práh, okno se vzorky neodpovídá fixaci a okno se přesouvá v záznamu o jeden prvek dopředu. Pokud je rozptyl naopak menší než práh, vzniká fixace. Okno se zvětšuje do té doby, dokud bude rozptyl D menší než práh. Tímto způsobem proběhne algoritmus celým souborem. X a Y představují souřadnice při horizontálním a vertikálním měření v protokolu. Algoritmus I-DT je hojně používán zejména přístroji o nižším vzorkovacím výkonu (Mošnerová, 2012).

3.2 I-MST

Tento algoritmus je obdobně jako předchozí založen na rozptylu bodů v procesu identifikace fixací. I-MST vytváří kostry (spojnice) o minimálním rozsahu, s využitím předdeklarovaného počtu záznamů (očních pohybů) za použití Primova algoritmu. I-MST je definován jako kostra s minimální vzdáleností mezi všemi záznamy v celém souboru. I-MST následně prochází MST a rozděluje body na fixace a sádky na základě předdefinovaného prahu vzdálenosti. Výhoda použití I-MST je zejména ta, že algoritmus dokáže identifikovat fixace, i když část záznamu chybí kvůli šumu. Pro dlouhé záznamy tato metoda vyžaduje vzorkovací okno k vybudování posloupnosti MST stromů (koster),

kteřé dovoluje analyzovat dlouhé nahrávání očních pohybů. Délka tohoto okna se obvykle volí rovnocenně k délce největší sakády, která se v záznamu očekává (Komogortsev, 2009).

Algoritmus MST je využíván v mnoha oblastech, např. pro broadcasting – požadavek odeslat zprávu všem uzlům v síti, dále pro zjištění počtu uzlů v síti, určení časové složitosti stromu či zpracování obrazu (Grygorash et al., 2006).

3.3 I-VT

Tento algoritmus je jeden z nejjednodušších k pochopení a implementaci. Jedná se o rychlostně založený algoritmus, tedy odlišně než předešlé dva. Nepočítá primárně fixace, ale jeho doplněk – sakády. V modelu I-VT se počítá hodnota rychlosti pro každý záznam očního pohybu. V záznamu pohybu oka se ukazují v podstatě dvě distribuce rychlostí: malé (>100 deg/sec), ukazující na fixace a velké (<300 deg/sec), značící sakády. Proces začíná výpočtem rychlostí (z bodu na bod) pro každý bod v protokolu. Každá rychlost je počítána jako vzdálenost mezi aktuálním a dalším (předešlým bodem). I-VT pak klasifikuje bod jako fixaci nebo sakádu na základě jednoduchého principu: Je-li hodnota vyšší než prahová jedná se o sakádu, v opačném případě o fixaci. Proces sbalí po sobě jdoucí body do shluku a již neřeší sakády. Každou skupinu fixací pak reprezentuje $\langle x, y, t, d \rangle$ pomocí těžiště, kde x a y jsou jeho souřadnice. Znaménko t je čas prvního bodu a d časový rozsah shluku (Salvucci, Goldberg, 2000).

3.4 I-HMM

Hidden Markov algorithm (skryté Markovovy řetězce) již byly použity v mnoha oblastech studia, například slouží v oblasti rozpoznávání řeči a rukopisu. V mnoha oblastech má rozpoznávání pohybu lidských očí hodně společného s rozpoznáváním řeči a rukopisu. Pokud je známo, s jakou pravděpodobností následují např. v angličtině po určitém znaku abecedy jiné znaky, lze automaticky generovat náhodné řetězce znaků, které sice zpravidla nedávají smysl, ale na pohled se anglickým větám velmi podobají. Algoritmy popsane zde provádějí analogické úlohy s očními pohyby, přičemž vezmou oční pohyby a stanoví nejpravděpodobnější sled zamýšlených budoucích fixací. HMM v podstatě vytváří předpokládané modelové řady. Proces hledání fixací začíná s HMM

tracerem (stopařem), který ztělesňuje všechny možné sekvence. Tracer obsahuje několik submodelů HMM, reprezentující jednotlivé fixace. HMM Tracer tedy obsahuje pravděpodobnostní vyjádření možných modelových sekvencí a možné fixační místa pro každý cíl v těchto sekvencích (Salvucci, 1999).

3.5 I-KF

Kalmanův filtr je rekurzivní odhad, který počítá budoucí stav dynamického systému. Ve zjednodušené podobě jde o předpovědní algoritmus, který se z předchozích i z následných budoucích dat snaží předpovědět průběh signálu, respektive vždy z průběhu minulých vzorků signálu vzorky následující. Ty jsou pak porovnány se skutečně naměřenými vzorky a jejich rozdíl se znovu využívá k vylepšení odhadu dalších budoucích vzorků. Tento způsob filtrace minimalizuje chybu mezi odhadnutým stavem systému a skutečným stavem systému. V této práci vystupuje oko jako systém se dvěma stavy, tzn. s pozicí a rychlostí. Zrychlení oka je modelováno jak šum s pevnou maximální hodnotou. Při aplikaci na nahrané záznamy pohybu očí algoritmus generuje předpokládané rychlosti očního signálu. Měřené a předpokládané hodnoty jsou pak zpracovány pomocí Chisquarova testu na detekci sakád (2).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^p \frac{(\hat{\theta}_i^- - \dot{\theta}_i)^2}{\delta^2} \quad (2)$$

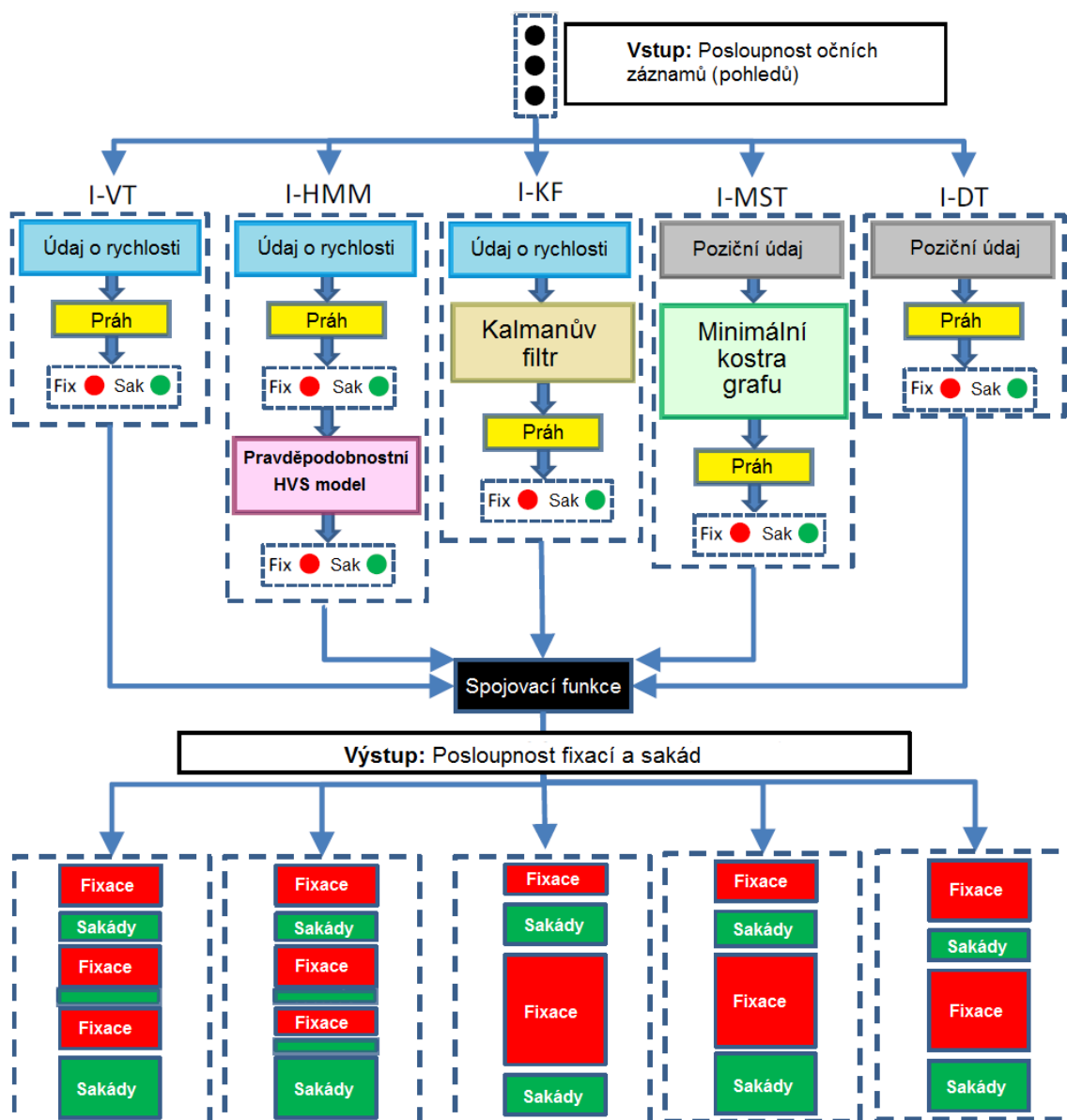
$\hat{\theta}_i^-$ je předpokládaná rychlost, počítaná pomocí Kalmanova filtru,

$\dot{\theta}_i$ je pozorovaná rychlost, počítaná z pozice oka a signálu z eye-trackeru,

δ^2 je směrodatná odchylka,

χ^2 je práh. Jakmile je této hodnoty dosaženo, sakáda je detekována.

Kalmanova filtrace se ale nejčastěji používá pro filtraci zarušených stacionárních signálů, odstranění bílého i barevného šumu, řízení a navigace robotů nebo k odhadu budoucnosti (průběh křivky) z minulosti (Komogortsev, 2009).



Obr. 1: Schéma znázorňující proces vytváření fixací a sakád všech algoritmů (Komogortsev et al., 2010).

3.6 Efekty nastavení

Vcelku logicky působí konstatování, že hodnoty fixací a sakád jsou velmi ovlivněné nastavením algoritmů. Stejně odlišné jsou pak i výsledky získané ze zařízení s frekvencí 60 Hz nebo 120 Hz. Výsledkem je, že všechny změřené fixace jsou silně ovlivněny použitím parametrů (v tomto případě) I-DT algoritmu. Nastavení rozptylu a doby trvání může vést k uměle vytvořeným odlišnostem, které mohou zcela změnit výsledek studie.

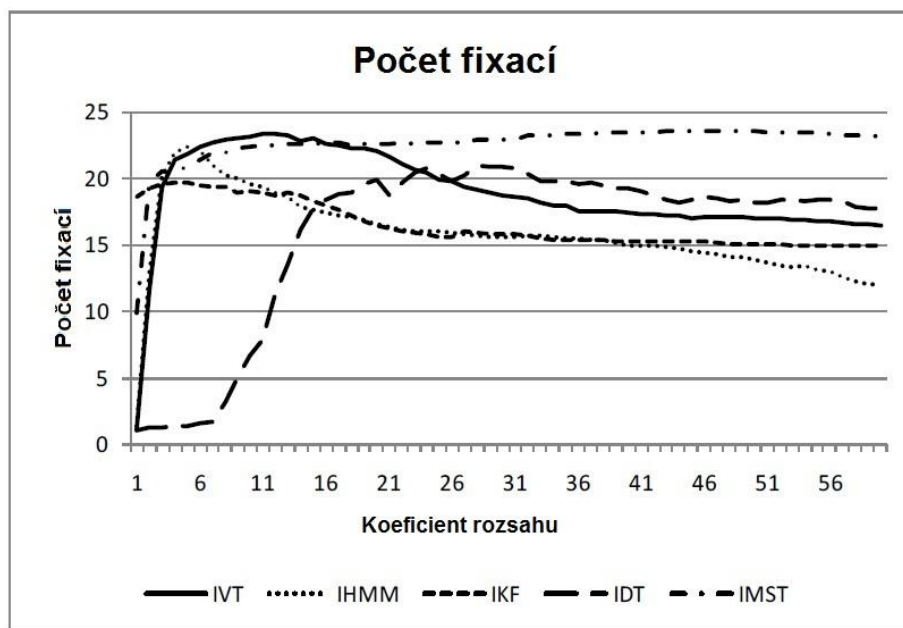
Například, nastavení parametrů na 60 ms a 60 pixelů dává zcela jiné výsledky než nastavení parametrů na 100 ms a 60 pixelů. Stejně tak nastane změna, pokud se změní hodnota rozptylu z 60 pixelů na 100 pixelů (při zachování doby fixace na 100 ms). Rozdíl mezi hodnotami může být výraznější, než by z těchto řádků mohlo být patrné. Jak uvádí ve svém pokusu Holmqvist, Nyström (2011) rozdíl mezi parametry 100 ms a 60 pixelů a nastavením na 100 pixelů při zachování doby 100 ms je až jedna třetina. Změna těchto dvou parametrů také mění rozdělení (distribuci) fixací. Změna nastavení ze 100 ms a 60 pixelů na 100 ms a 100 pixelů výrazně snižuje počet fixací, okolo 200 ms je naopak patrný výrazný nárůst počtu fixací.

Podobně to však nefunguje jen u algoritmů založených na prahování rozptylu jako I-DT, ale i u algoritmů, které pracují s údaji o rychlosti. Příkladem takového algoritmu je I-VT. Zde se pracuje s daty ve formátu úhly/vteřinu. Pokud nastavíme délku trvání fixace například na 90°/s, průměrná fixace je dva a půl krát delší než u 30°/s. Někteří autoři již prezentovali změnu těchto hodnot u různých nastavení - např. Shic, Scasellati a Chawarska (2008), od 18°/s do 81°/s. Z výše zmíněného je jasné, že vybrané nastavení může být rozhodujícím faktorem jakékoliv studie. Rovněž platí, že velmi podobné studie jsou neporovnatelné, pokud jsou hodnoceny jinými metodami nebo odlišnými parametry nastavení (Holmqvist, Nyström, 2011).

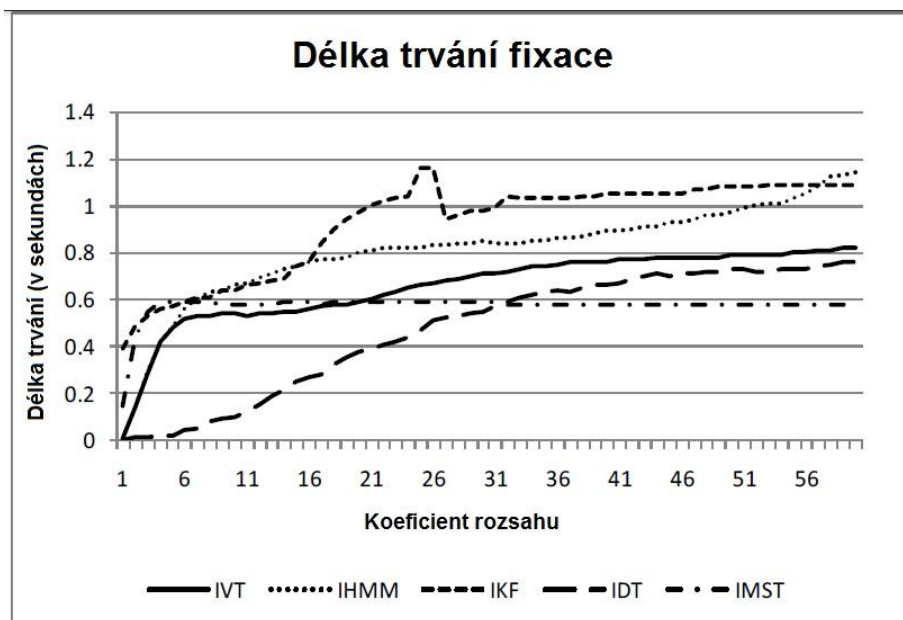
Téma nastavení parametrů je však značně subjektivní záležitost a je nemožné určit jediné správné hodnoty. Proto bude v této práci kladen zejména důraz na rozdíly mezi jednotlivými algoritmy.

3.7 Metody porovnání algoritmů

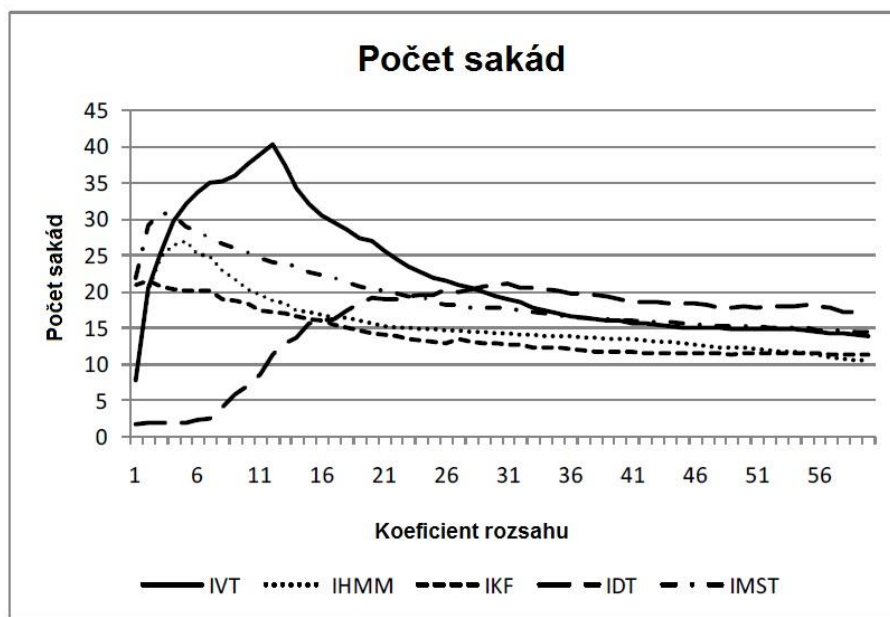
Pokud bychom chtěli porovnávat různé metody, můžeme použít několik již existujících a otestovaných metrik a ukazatelů. Zde uvedené metody odráží téma této práce, tedy zejména fixační metriky. Tyto metody ukazují celkový počet fixací, dobu trvání fixace v sekundách a počet sakád. Teoreticky je níže porovnáváno jen pět zmíněných algoritmů, které jsou zároveň předmětem této práce. Graf odráží změnu hodnot parametrů. Možností, jak různé algoritmy porovnat, je však o mnoho více, zmíněny jsou pouze vybrané (Komogortsev, 2010).



Obr. 2: Graf ukazující rozdílné výsledky algoritmů při vytváření fixací, pomocí metody ANF (Komogortsev, 2010).



Obr. 3: Graf znázorňující rozdílnou délku fixací u různých algoritmů metodou AFD (Komogortsev, 2010).



Obr. 4: Graf ukazující na rozdíly mezi jednotlivými algoritmy při vytváření sakád. Vytvořeno metodou ANS (Komogortsev, 2010).

4 KONVERZE DAT A TESTOVÁNÍ ALGORITMŮ

V této části práce se pojednává o testování pěti dříve zmíněných algoritmů (I-DT, I-VT, I-MST, I-KF, I-HMM). Z dostupné literatury vyplývá, že nebylo provedeno dostatek testování zmíněných algoritmů za účelem jejich porovnání. Cílem této praktické části je určit rozdíly ve vyhodnocování shluků, najít charakteristické rysy jednotlivých metod a navrhnout pro různé typy úloh nejvhodnější algoritmus. K tomuto účelu byl vytvořen test o 4 mapách – modelech (zobrazeny níže), kterého se zúčastnily dvě osoby kvůli minimalizaci náhodných či subjektivních chyb.

4.1 Konverze dat do úhlového systému

Před samotným testováním bylo nejdříve potřeba převést získaná data do souřadnicového systému v použitém skriptu. Toto se ukázalo být klíčovou částí celé práce. ET systém na Katedře geoinformatiky PřF UP v Olomouci exportuje naměřená surová data (raw data) v pixelovém souřadnicovém systému s počátkem [0,0] v levém horním rohu testovaného souboru. Naproti tomu program sloužící k výpočtu fixací a jejich velikostí potřebuje data získaná v úhlech se středem [0,0] ve středu obrazovky. K převodu mezi rozdílnými systémy byl vytvořen program napsaný v programovacím jazyce C# (C Sharp). Jedná se o objektově orientovaný jazyk vyvinutý firmou Microsoft, který je nepřímým nástupcem jazyka C (Jansen, 2010).

Zde budou popsány pouze základní principy tohoto kódu, jeho plné znění (úplný zdrojový kód) včetně komentáře se nachází v přílohách této práce.

Ke zmíněnému převodu je potřeba znát následující informace: vzdálenost očí pozorovatele od monitoru (nastavena na 660 mm), rozlišení monitoru v pixelech, rozměry monitoru a samozřejmě také poloha očního záznamu v pixelech. Vznikne tak trojúhelník, u kterého je převod možný za použití goniometrických funkcí (tangens). Formát vstupního souboru je uveden na obrázku 5.

No	Pupil	Time	Subject	Type	Stimulus	Trial	L Raw X [px]	L Raw Y [px]	L Dia X [px]	L Dia Y [px]	L POR X [px]	L POR Y [px]	Timing	Latency	L Validity
0	615951699	615960079	G1S1	SMP	1	642,42	617,9	9,9	9,9	833,1	539,5	0	1326	0	1
1	615968374	615976705	G1S1	SMP	1	644,41	617,8	10,05	10,05	835,92	540,52	0	1425	0	1
2	615985117	615993325	G1S1	SMP	1	645,51	617,73	9,96	9,96	839,05	539,64	0	1418	0	1
3	616001740	616010067	G1S1	SMP	1	645,35	617,79	10,09	10,09	839,44	539,3	0	1374	0	1
4	616018379	616026699	G1S1	SMP	1	645,15	617,79	10,17	10,17	840,81	538,05	0	1455	0	1
5	616035107	616043320	G1S1	SMP	1	645,04	617,77	10,15	10,15	841,16	535,75	0	1351	0	1
6	616051709	616060071	G1S1	SMP	1	645,05	617,76	10,13	10,13	840,43	537,62	0	1443	0	1
7	616076703	616085118	G1S1	SMP	1	645,13	617,83	10,22	10,22	840,17	537,52	0	1329	0	1
8	616093321		G1S1	SMP	1	645,28	617,82	10,27	10,27	839,86	537,52	0	1463	0	1
9			G1S1	SMP	1	645,37	617,86	10,31	10,31	838,06	536,24	0	1261	0	1
10			G1S1	SMP	1	645,42	617,87	10,27	10,27	837,47	536,16	0	1478	0	1
11			G1S1	SMP	1	645,49	617,87	10,02	10,02	836,43	536,39	0	1386	0	1
12			G1S1	SMP	1	645,22	617,98	10,26	10,26	836,56	534,89	0	1420	0	1
13			G1S1	SMP	1	642,57	618,28	10,54	10,54	835,71	537,4	0	1238	0	1
14			G1S1	SMP	1	641,8	618,51	10,43	10,43	834,88	540,15	0	1407	0	1
15			G1S1	SMP	1	641,69	618,41	10,39	10,39	834,85	543,33	0	1319	0	1

Obr. 5: Vstupní soubor programu pro převod z pixelového s.s. do sférického s.s.

Výstupní soubor tohoto programu už je okleštěn o nepotřebné informace (položky Subject, Type, aj.) a ty informace, u kterých není potřeba převodu (např. pole Validity aj.)

4.2 Eye movement classification software

Samotný výpočet fixací a doplňujících informací byl proveden programem Eye movement classification software, který je při splnění určitých podmínek zdarma dostupný z této adresy: http://cs.txstate.edu/~ok11/emd_offline.html. Tento klasifikátor byl vytvořen ve skriptovacím a programovacím jazyce MATLAB. Jeho uživatelské rozhraní s nastavením jednotlivých parametrů lze vidět na obrázku 6. V této práci bylo ponecháno implicitní nastavení jednotlivých algoritmů. Z uvedeného obrázku je patrné, které hodnoty jsou programem vyžadovány k vypočítání fixací. V první řadě se jedná a souřadnice X a Y, vzorkovací frekvenci a validitu záznamů. I zde je potřeba důsledně dodržet posloupnost jednotlivých sloupců vstupního souboru, včetně formátu dat. Ukázka takového souboru je na obrázku 7. Ne všechny údaje jsou však v procesu výpočtu potřebné. Program kromě zmíněných shluků dokáže vypsát i jednotlivé sakády a rovněž některé charakteristiky souboru, jako počet fixací (ANF), počet sakád (ANS) aj.

Výstupem celého procesu byly vypočtené fixace (obr. 8), ovšem opět v souřadnicovém systému (úhlovém), který je nevhodný pro další zpracování (vizualizaci shluků). To totiž probíhalo v grafickém editoru GIMP, který používá stejně jako eye tracking systém na katedře geoinformatiky souřadnicový systém s počátkem v levém horním rohu. Shodný souřadnicový systém mají téměř všechny grafické programy.

classifier_run

Classifier selection

☒ Use I-VT model for classification

☒ Use I-KF model for classification

☒ Use I-HMM model for classification

☒ Use I-MST model for classification

☒ Use I-DT model for classification

Classify

Saccade filtering settings

☐ Enable saccade filtering

Minimal saccade amplitude, deg: 4

Maximal saccade amplitude, deg: 180

Minimal saccade length, samples: 4

Merge settings

Merge time interval, ms: 75

Merge distance, deg: 0.5

Additional options

☒ Show plots of results

Plot type selection

☒ 2D plot for x coordinate

☐ 2D plot for y coordinate

☐ 3D plot for x and y coordinates

☐ 3D plot for velocity

☒ Calculate scores

I-VT settings

Saccade detection threshold, deg/s: 70

I-KF settings

Chi threshold: 15

Sampling window size, samples: 5

Deviation: 1000

I-MST settings

Saccade detection threshold, deg: 0.6

Window size, samples: 200

I-DT settings

Dispersion duration threshold, s: 0.1

Dispersion threshold, deg: 1.35

I-HMM settings

Saccade detection threshold, deg/s: 70

Viterbi sample size, samples: 200

Baum-Welch reiteration: 5

Input file settings

classifier\input\test1.txt

☐ Enable data conversion from ETU to degrees

X coordinate field: 8, Image width, ETU: 1024

Y coordinate field: 9, Image height ETU: 768

Data validity field: 11, Image width, mm: 400

Header lines: 11, Image height, mm: 300

Number of fields: 14, Distance from screen, mm: 800

Eye tracker's sampling rate, hz: 120, Distance to eye level, mm: 300

Distance to lower screen edge, mm: 200

Output file settings

Common part of output filename: classifier\Output\test1

Common extension of output filenames: .txt

☐ Show debug messages

Scores for selected classifiers

	FQnS	FQIS	SQnS	AFD	ANF	ASA	ANS
IVT							
IKF							
IDT							
IMST							
IHMM							

Obr. 6: Uživatelské rozhraní klasifikátoru.

test1 - Poznámkový blok

Soubor Úpravy Formát Zobrazení nápověda

Data Properties:

Recording Name : Physical Therapy Data Recording

Recording Date & Time : 15-Feb-13 11:02:12 AM

Recording Resolution : 1680x1050

Subject Name : Participant_14

Fixation Duration in seconds : 660

User distance from screen in mm: 660

TimeStamp	X_Position_Degree_Left_Eye	X_Position_Degree_Right_Eye	Y_Position_Degree_Left_Eye	Y_Position_Degree_Right_Eye	Distance_From_LeftEye	Distance_From_RightEye	Validity_LeftEye	Validity_RightEye	Pupil_Diameter_LeftEye	Pupil_Diameter_RightEye	Target X	Target Y
1	132522	-02.418106	7.96	674.91	0	03.468534	0.155076725395294	-0.587741644339492	679.93	0	03.606859	0
2	140971	-02.418106	07.710617	674.92	0	03.472712	0.109219513345498	-0.630143682225442	679.94	0	03.614037	0
3	149270	-02.467903	07.73511	674.92	0	03.478078	0.147433868930716	-0.555940759007668	679.93	0	03.610175	0
4	157595	-02.418106	07.808573	674.93	0	03.475033	0.132394684694652	-0.585030519058983	679.92	0	03.614858	0
5	165888	-02.443005	07.930953	674.92	0	03.46772	0.0954130108133683	-0.575170475262037	679.90	0	03.617096	0
6	174341	-02.542592	07.88201	674.91	0	03.476881	0.0894959348141086	-0.648139616472142	679.88	0	03.623017	0
7	182511	-02.443005	07.857534	674.90	0	03.483855	0.122532914507077	-0.567774345940573	679.86	0	03.622643	0
8	190965	-02.4928	08.004347	674.89	0	03.46067	0.190578949700435	-0.567772503579071	679.87	0	03.622378	0

Obr. 7: Formát vstupního souboru klasifikátoru.

Obr. 8: Formát výstupního souboru s vypočtenými fixacemi.

4.3 Konverze dat do pixelového systému a vizualizace

Stejně jako v předešlém případě bylo potřeba napsat program, který tento problém vyřeší a poskytne fixace se středem v pixelech. I tento vstupní soubor (obr. 8) obsahuje více údajů než je potřeba, proto bude výstupní soubor (obr. 9) o tyto informace osekán. Převod probíhá shodně jako v prvním případě, resp. na základě stejných znalostí a údajů a pomocí goniometrických funkcí. Jeho zdrojový kód je rovněž uveden v přílohách této práce. Oba konverzní programy se spouští pomocí příkazové řádky a nemají žádné uživatelské rozhraní.

Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda
1	25	812	404	1008,333333
2	1075	644	973	133,333333
3	1241,666667		590	950 100
4	1383,333333		654	967 383,333333
5	1825	838	979	1583,333333
6	3458,333333		786	411 291,666667
7	3775	694	162	158,333333
8	3966,666667		272	172 583,333333
9	4575	702	160	525
10	5333,333333		471	465 200
11	5558,333333		929	327 425
12	6100	1350	377	441,666667
13	6600	1518	223	525
14	7158,333333		979	364 475
15	7666,666667		499	425 391,666667
16	8083,333333		878	357 1491,666667
17	9600	815	353	1750
18	11383,333333		842	366 1366,666667
19	13000	889	926	891,666667

Obr. 9: Seznam fixací prvního respondenta algoritmu I-DT. Sloupce popisují: číslo shluku, počáteční čas shluku, souřadnice středu shluku a dobu trvání.

kategorie	doba trvání	velikost
1	méně než 200	0,5
2	201-400	1
3	401-600	1,5
4	601-800	2
5	801-1000	2,5
6	1001-1200	3
7	1201-1400	3,5
8	1401-1600	4
9	1601-1800	4,5
10	1801-2000	5
11	2001-2200	5,5
12	2201 a více	6

Obr. 10: Kategorie vytvořených shluků.

Pro závěrečnou fázi praktické části bylo nutné stanovit intervaly jednotlivých shluků, které odpovídají době trvání fixace v ms. Tyto údaje lze nalézt na obrázku 10. Z důvodu přehlednosti výsledných map bylo vytvořeno 12 kategorií a shluky větší než 2201 ms byly zařazeny do jedné kategorie. Nyní již bude věnována pozornost prezentaci výsledků.

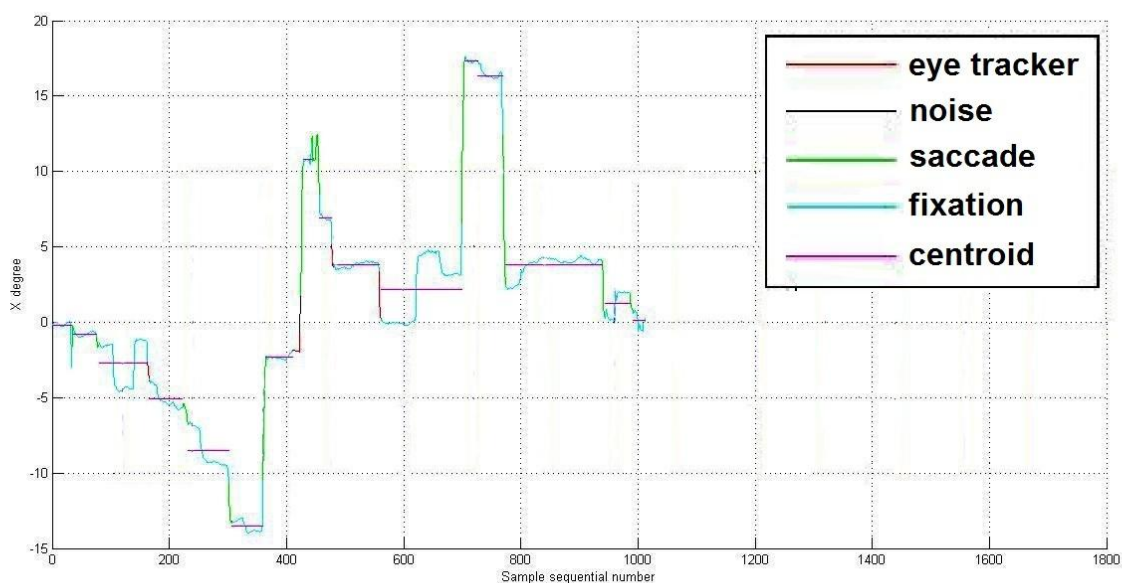
4.4 Testování algoritmů, použitá data a software

V této části budou zobrazeny a zhodnoceny jednotlivé metody. Nutno podotknout, že obě testované osoby mají s geografii, kartografií i geoinformatikou zkušenosti, proto by se výsledky či doba řešení úloh od běžné populace lišily. Jak bylo řečeno, testovány byly čtyři mapy dvěma osobami a to pomocí pěti algoritmů. Celkem tedy vzniklo 40 výstupů, což bylo náročné především z hlediska vizualizace.

Vizualizace těchto shluků byla provedena v grafickém editoru GIMP. Bylo tomu tak zejména proto, že GIMP má shodný souřadnicový systém jako eye tracking. Odpadla tak další překážka v podobě konverze do odlišného souřadnicového systému.

Správnost odpovědí nebyla vyhodnocena především proto, že v procesu prohledávání a klasifikace algoritmů nehrál počet správných odpovědí žádnou roli. Smyslem je především analyzovat oční pohyby, nikoliv se zabývat znalostmi testovaných osob. Všechny 40 map je v plném rozlišení k dispozici v přílohách. Ke každému výpisu fixací vytvoří klasifikátor rovněž graf znázorňující časové rozložení fixací, sakád atd. Ukázka je na obrázku 11.

Jak už bylo řečeno, vzdálenost očí od monitoru byla nastavena na 66 cm, k odchylkám však nedocházelo ani při pohybech okolo této hranice, tato skutečnost tedy neovlivnila přesnost výsledků.



Obr. 11: Graf znázorňující rozložení fixací a další charakteristiky.

4.4.1 První testovaná mapa

U tohoto 3D modelu byl cíl nalézt nejvyšší horu. Doba prohledávání u obou testovaných osob byla ze všech map nejnižší, což pochopitelně ovlivnilo počet vytvořených shluků. Byly zde očekávány středně velké shluky, jelikož nedochází k prohledávání celého prostoru, ale pouze k porovnávání mezi označenými místy. Ze získaných surových dat první osoby vytvořil nejméně shluků algoritmus I-DT a to 19.

Tab. 1: Počet vytvořených shluků u prvního respondenta v první mapě.

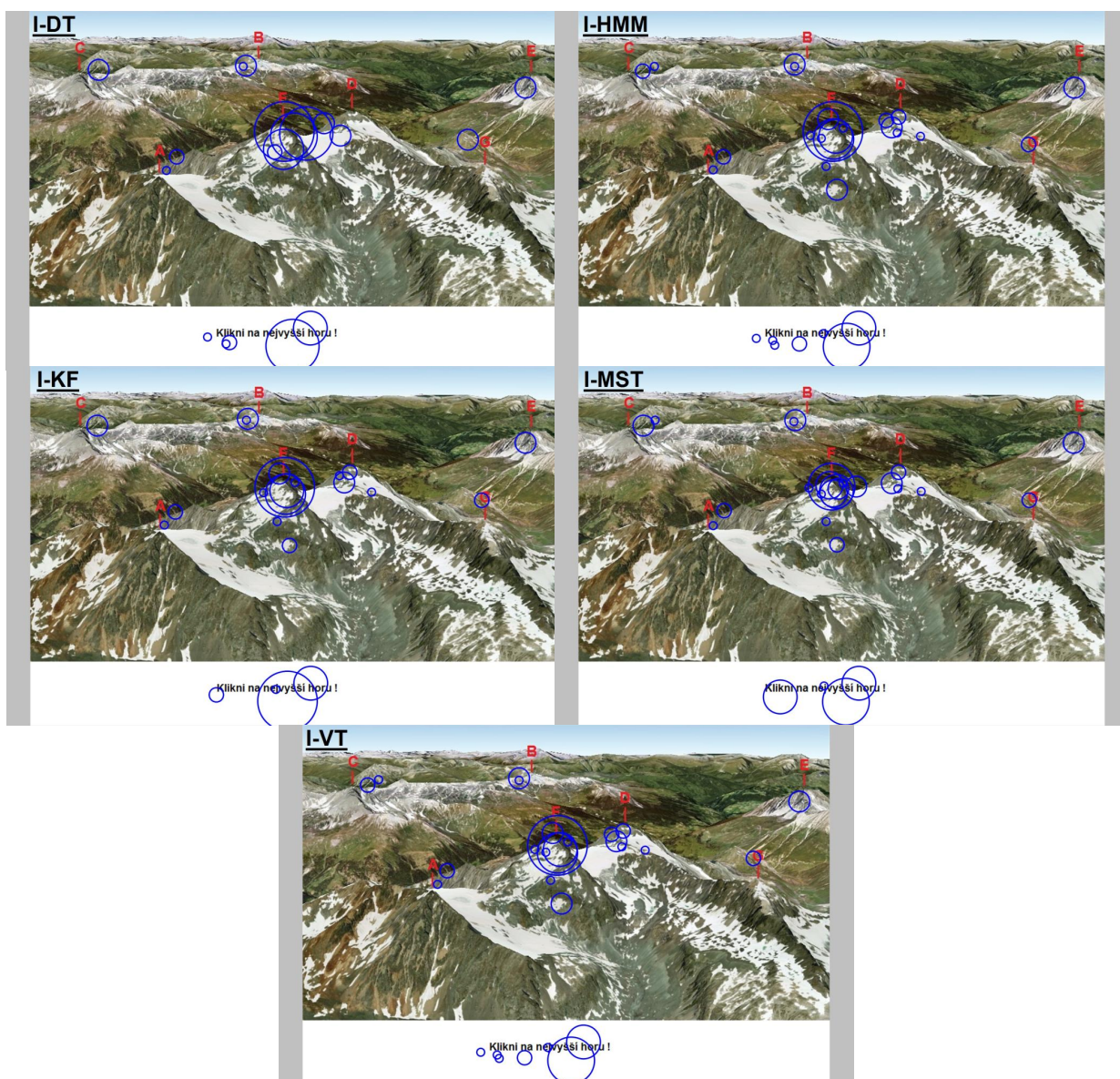
I-DT	I-HMM	I-KF	I-MST	I-VT
19	29	23	27	29

Na rozdíl od ostatních algoritmů má v tomto případě I-DT tendenci sledované oblasti generalizovat a vytvářet větší shluky, než řadu menších. Na druhé straně pomyslného žebříčku se nachází algoritmy I-HMM a I-VT, které nejen vytvořily shodný počet shluků,

ale umístily je i na stejná místa. Zda se jedná o trend nebo náhodu bude patrné z ostatních vzorků.

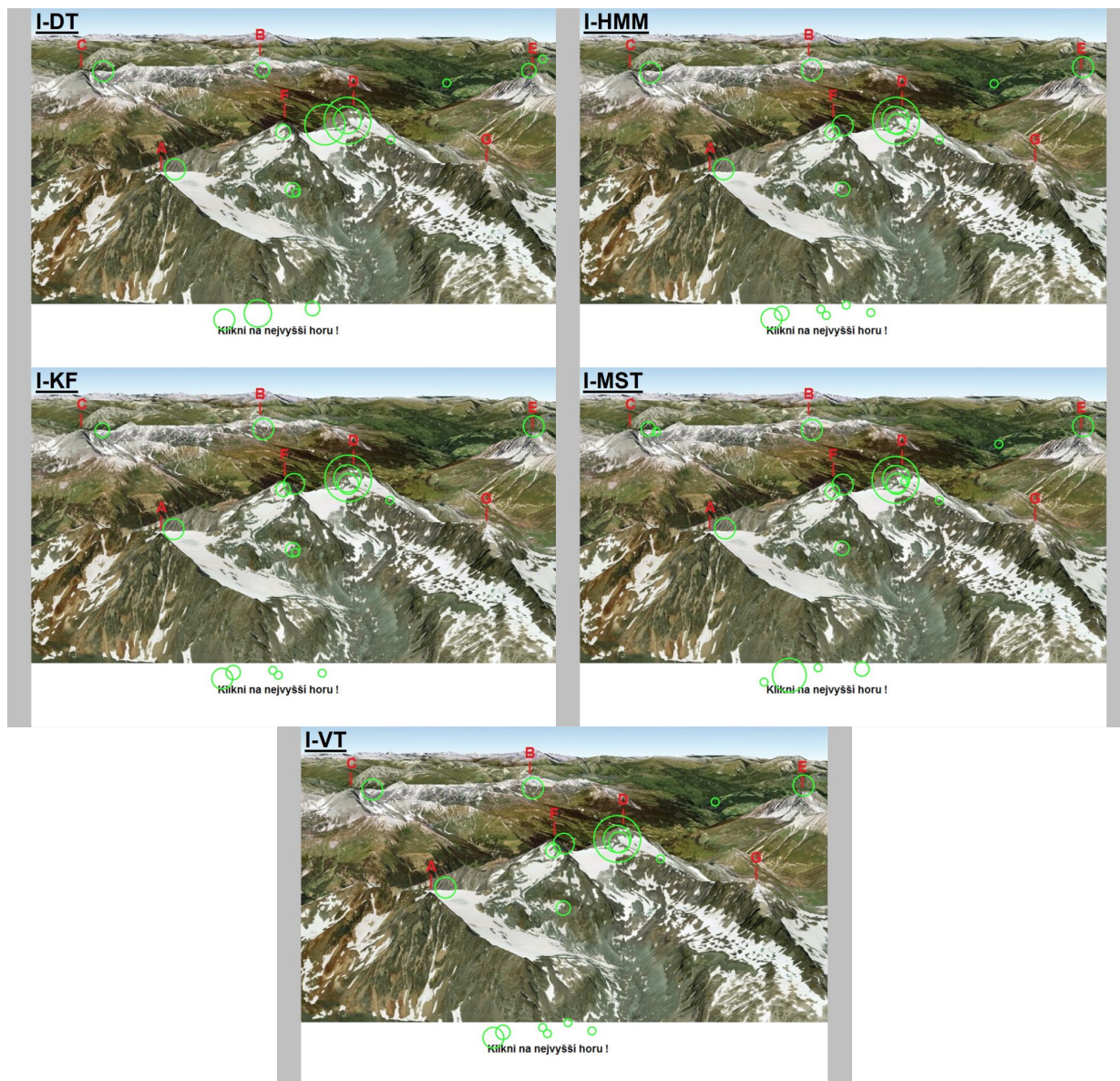
Tab. 2: Počet vytvořených shluků u druhého respondenta v první mapě.

I-DT	I-HMM	I-KF	I-MST	I-VT
16	18	17	18	18



Obr. 12: Vytvořené shluky u první osoby v první testované mapě.

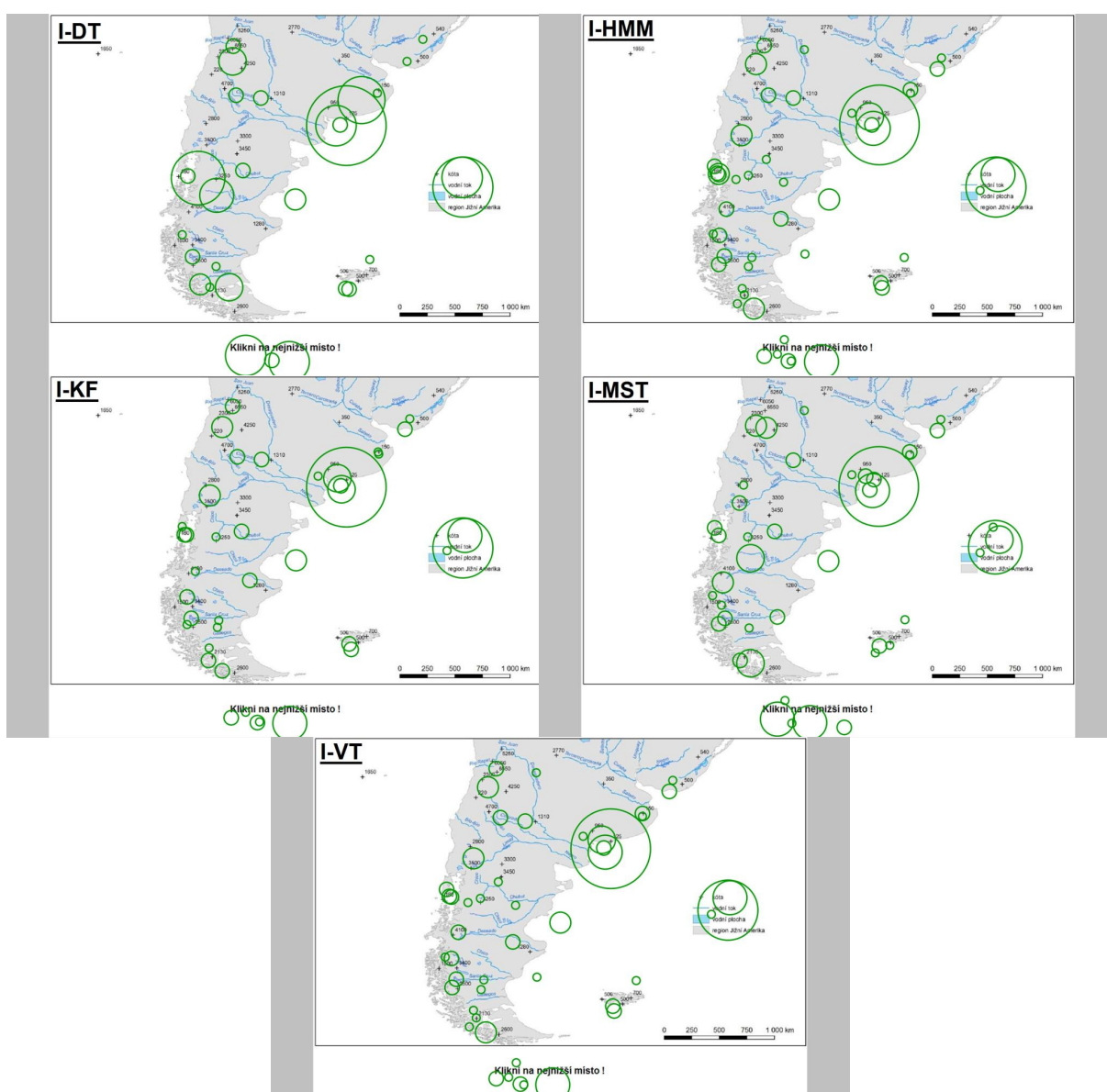
Výsledky testování u druhé osoby v podstatě kopírují předešlé výsledky. Pouze počet vytvořených fixací je o poznání nižší a totéž platí o rozdílech mezi jednotlivými algoritmy. To je způsobeno kratší odezvou na položený dotaz. Nejméně shluků vytvořil opět I-DT.



Obr. 13: Ukázka výsledků první mapy u druhé osoby.

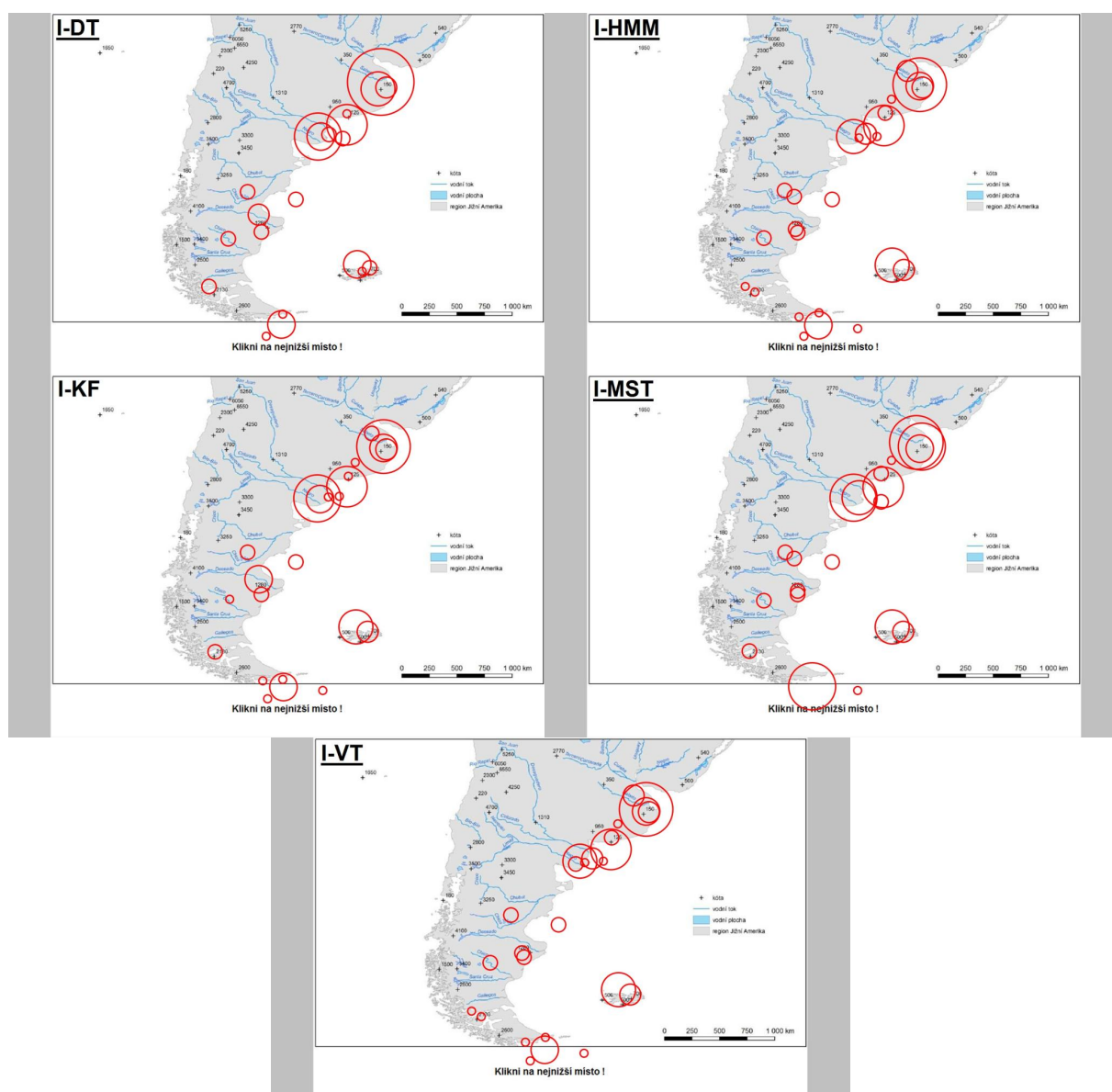
4.4.2 Druhá testovaná mapa

V této mapě se očekávala tvorba několika menších shluků, které by odrážely předpoklad procházení celé mapy. Zde, na rozdíl od předešlé mapy, uživatelé hledali jeden z mnoha bodů a to ten, který měl nejmenší nadmořskou výšku. Opět ponechme stranou, zda tento bod obě osoby našly a pojďme se zaměřit na výsledné shluky. Můžeme konstatovat, že princip procházení mapy by měl nejvíc odpovídat čtení – vytvoření malých shluků ve větším počtu blízko sebe. Ve skutečnosti však ne všechny algoritmy takové shluky vytvořily.



Obr. 14: Shluky prvního respondenta v druhé mapě.

V této mapě, nezávisle na testované osobě, se začínají potvrzovat některé charakteristiky metod z první mapy. Mezi jinými například to, že algoritmy I-HMM a I-VT vytváří i z většího vzorku dat stejný počet shluků. Můžeme také konstatovat, že algoritmus I-KF vytváří průměrný počet shluků a ve výsledné vizualizované podobě přebírá charakteristické rysy více algoritmů.



Obr. 15: Vytvořené shluky v druhé mapě u druhého respondenta.

Tab. 3: Tabulka shluků první osoby v druhé mapě.

I-DT	I-HMM	I-KF	I-MST	I-VT
30	48	40	44	48

Tab. 4: Tabulka shluků druhé osoby v druhé mapě.

I-DT	I-HMM	I-KF	I-MST	I-VT
21	27	24	20	27

U druhé testované osoby vznikl menší počet shluků, rysy z předešlého odstavce zůstaly zachovány s jednou výjimkou – nejméně shluků vytvořil I-MST. To je způsobeno malou vzdáleností mezi shluky zejména v textové části. Uživatel, jak je patrné i z množství shluků, procházel (i pročítal) zadání rychleji než osoba první. Zároveň platí, že není důležité sledovat pouze vizualizaci, ale zároveň i časovou posloupnost vytvořených shluků, která je patrná pouze z textového výpisu.

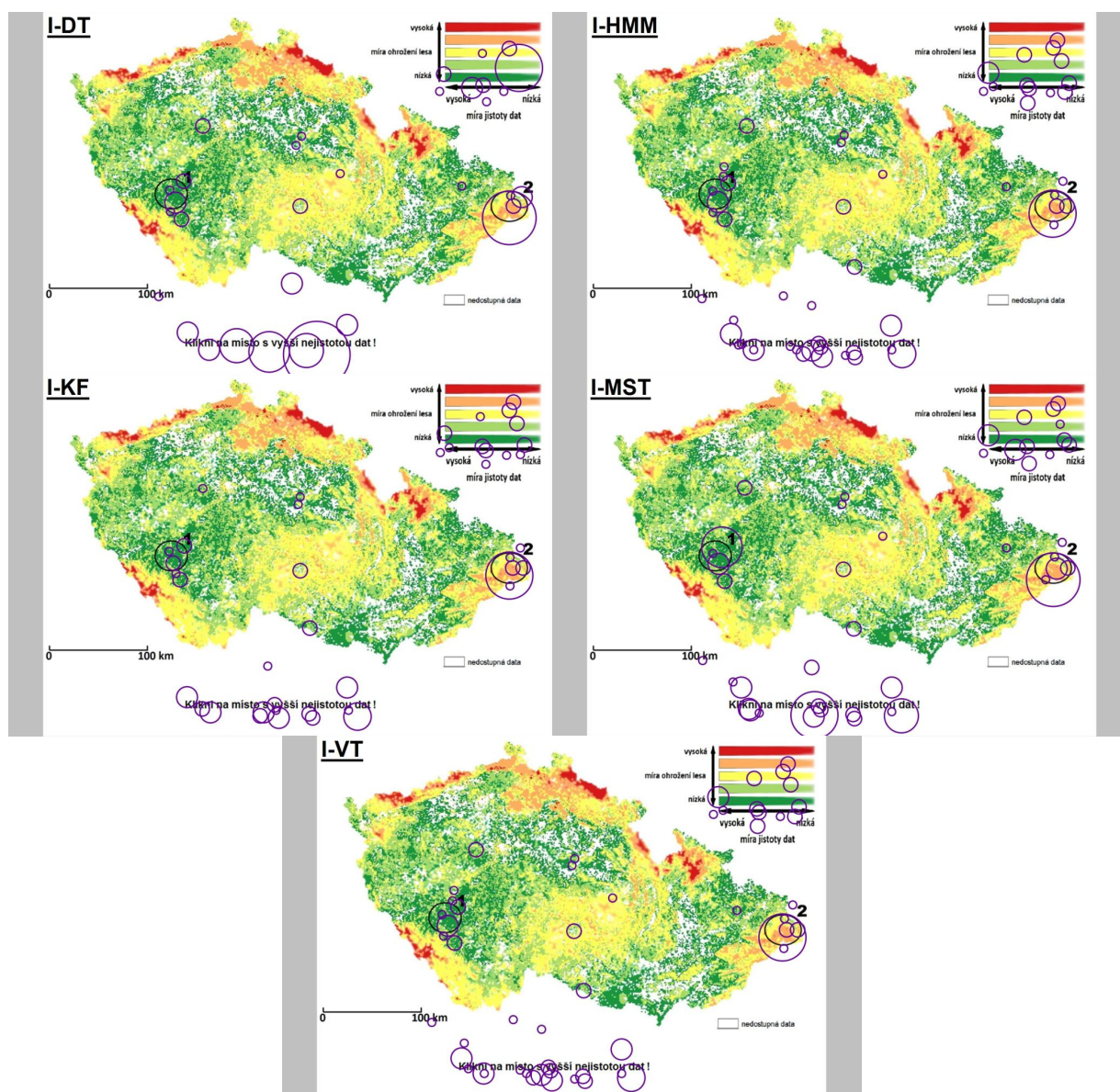
4.4.3 Třetí testovaná mapa

Při pohledu na mapu by se dalo čekat, že zde vzniknou největší fixace a to konkrétně v oblasti dvou porovnávaných míst. Realita se ukázala být jiná, respondenti věnovali stejné množství času i pochopení legendy a čtení zadání.

U první osoby lze pozorovat tvorbu duplicitních shluků, zejména v legendě a v textu. Algoritmus I-KF ignoruje určitá místa a nevytváří shluky v místech, kde tak ostatní algoritmy činí. Jde o jev, který nebyl u prvních dvou map příliš patrný, nyní se v menší míře začíná projevovat. Je nutno zmínit, že nejen u této mapy se i ostatní algoritmy liší jak v místech (ne)tvorby shluku, tak případně jeho velikosti. Podobně jako nyní lze určitou „ignoraci“ nejmenších shluků zaznamenat u druhé osoby v první mapě a to konkrétně mezi vrcholy D a E.

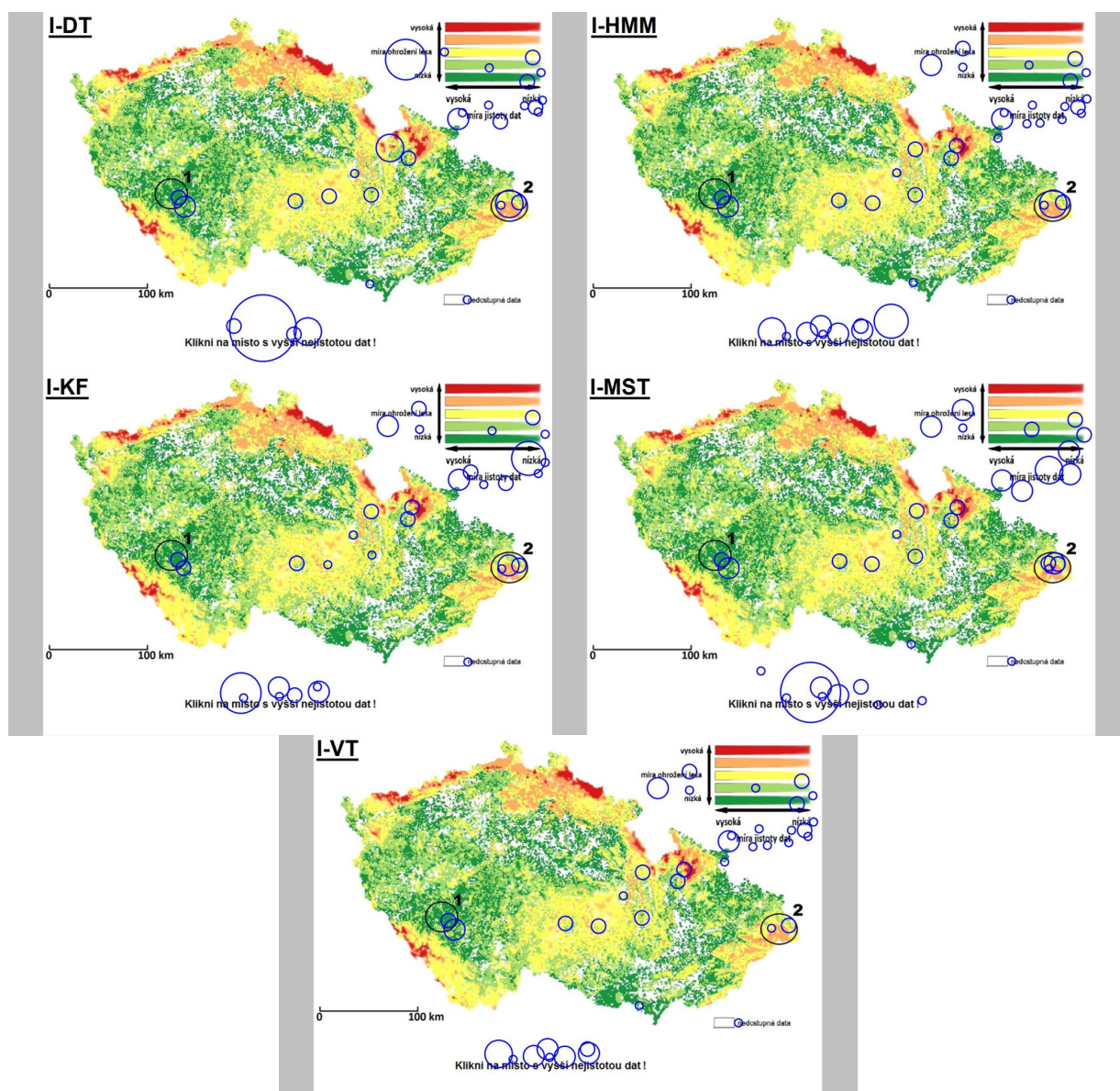
Tab. 5: Počet vytvořených shluků první osoby ve třetí mapě.

I-DT	I-HMM	I-KF	I-MST	I-VT
33	55	43	45	54



Obr. 16: Shluky první osoby u třetí mapy.

U druhé osoby je možné pozorovat možnou příčinu chování algoritmu I-KF. Jedná se o to, že většinu (zejména menších) shluků zobrazí v menší velikosti než algoritmy ostatní. Ty nejmenší z nich pak často nejsou zobrazeny vůbec. Podobně se v tomto případě chovaly i algoritmy I-HMM a I-VT, u těch však dochází pouze k tvorbě menších shluků, nikoliv k jejich nezobrazení. Nejmenší počet shluků (a největších) u obou osob vytváří stále algoritmus I-DT.



Obr. 17: Vizualizace shluků druhé osoby ve třetí mapě.

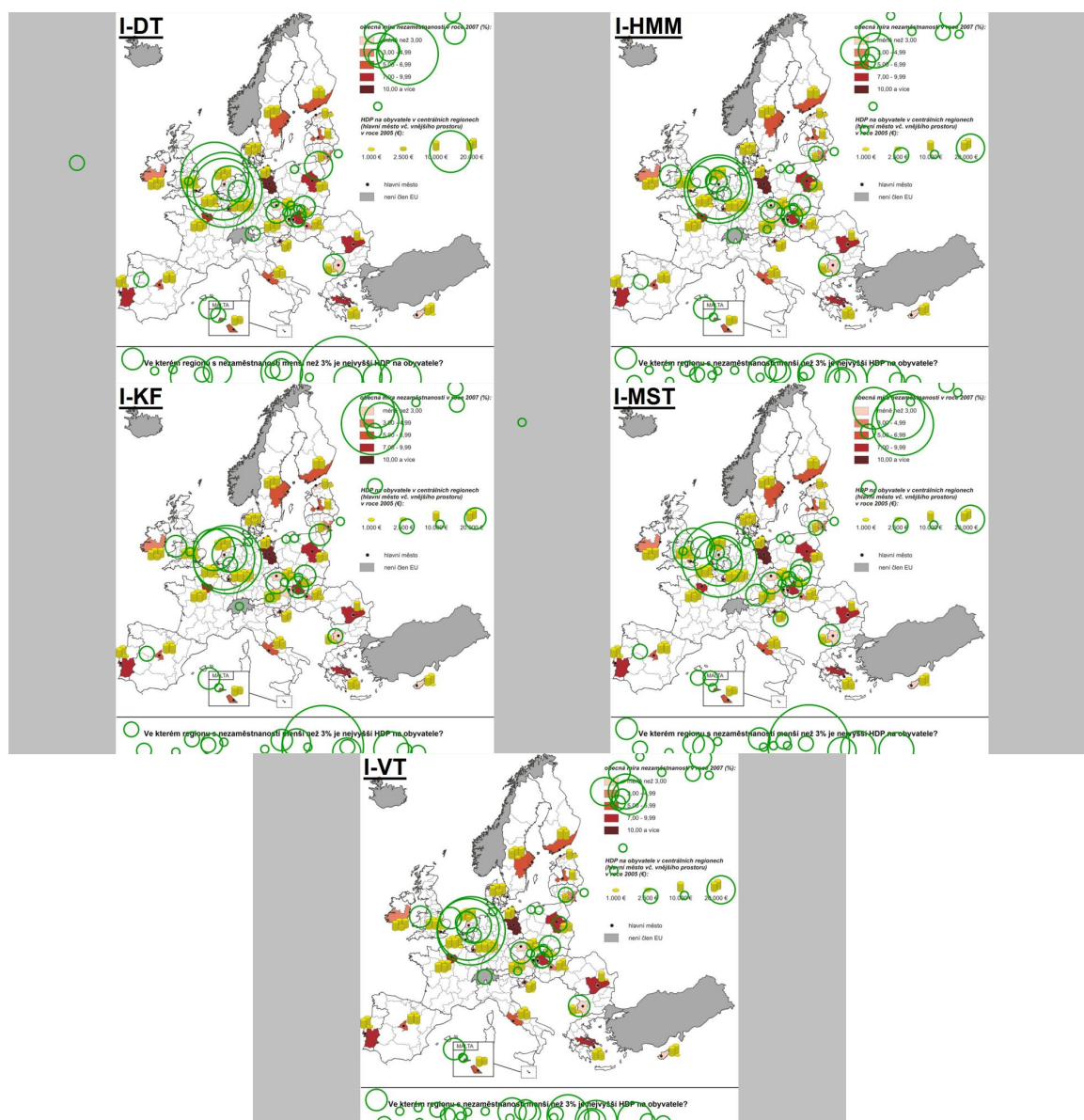
Tab. 6 : Vytvořené shluky dle algoritmu druhé osoby ve třetí mapě.

I-DT	I-HMM	I-KF	I-MST	I-VT
31	40	33	35	40

4.4.4 Čtvrtá testovaná mapa

Poslední část testu kladla na testované osoby časově nejvyšší nároky k vyřešení. Tato skutečnost šla ruku v ruce s obtížností dotazu. Vyskytlo se zde nejvíce shluků, od nejmenších až po největší, v některých případech na hranici přehlednosti. A také největší shluk z celého testování vůbec, který vytvořil algoritmus I-MST u první osoby.

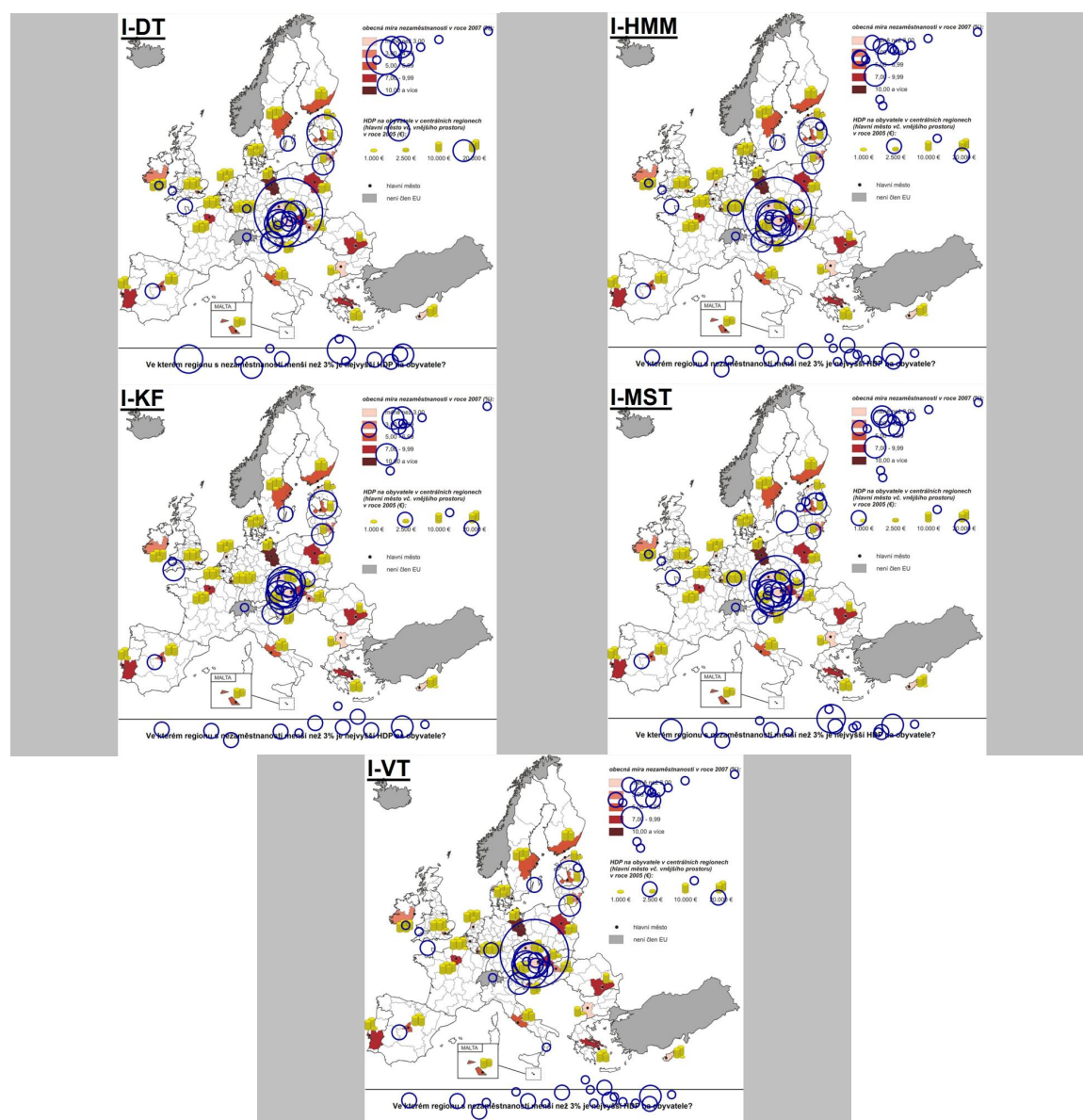
Zřejmě chybou v testování vytvořily I-DT a I-MST nesmyslné shluky v levé části obrázku. Jako chybu lze u těchto dvou metod vnímat i vytvoření jednoho většího shluku v oblasti Beneluxu a Velké Británie, zvlášť patrné by to bylo při zobrazení surových dat (vhodné je vytvořit dva shluky jako to udělaly algoritmy I-HMM, I-KF a I-VT). Již samostatnou kapitolou je generalizování I-DT v oblasti legendy (hodnoty HDP). Algoritmy I-HMM a I-VT rovněž chybně vytvořily shluky na souřadnicích [-1,-1], což je z pochopitelných důvodů nemožné.



Obr. 18: Vytvořené shluky ve čtvrté mapě u prvního respondenta.

Tab. 7: Počty vytvořených shluků u první osoby ve čtvrté mapě.

I-DT	I-HMM	I-KF	I-MST	I-VT
46	68	52	54	67



Obr. 19: Poslední testovaná mapa u druhého respondenta.

U druhé osoby je zajímavé sledovat, že jediný I-KF nevytvořil větší shluk nad střední Evropou. Tady lze konstatovat, že je to opakující se jev. Výjimkou jsou samozřejmě situace, kdy daná osoba sleduje určité místo po dlouhou dobu. V takovém případě vytvoří každý algoritmus pochopitelně velmi velký shluk.

Tab. 8: Tabulka znázorňující počet shluků druhého respondenta v poslední mapě.

I-DT	I-HMM	I-KF	I-MST	I-VT
44	59	45	60	60

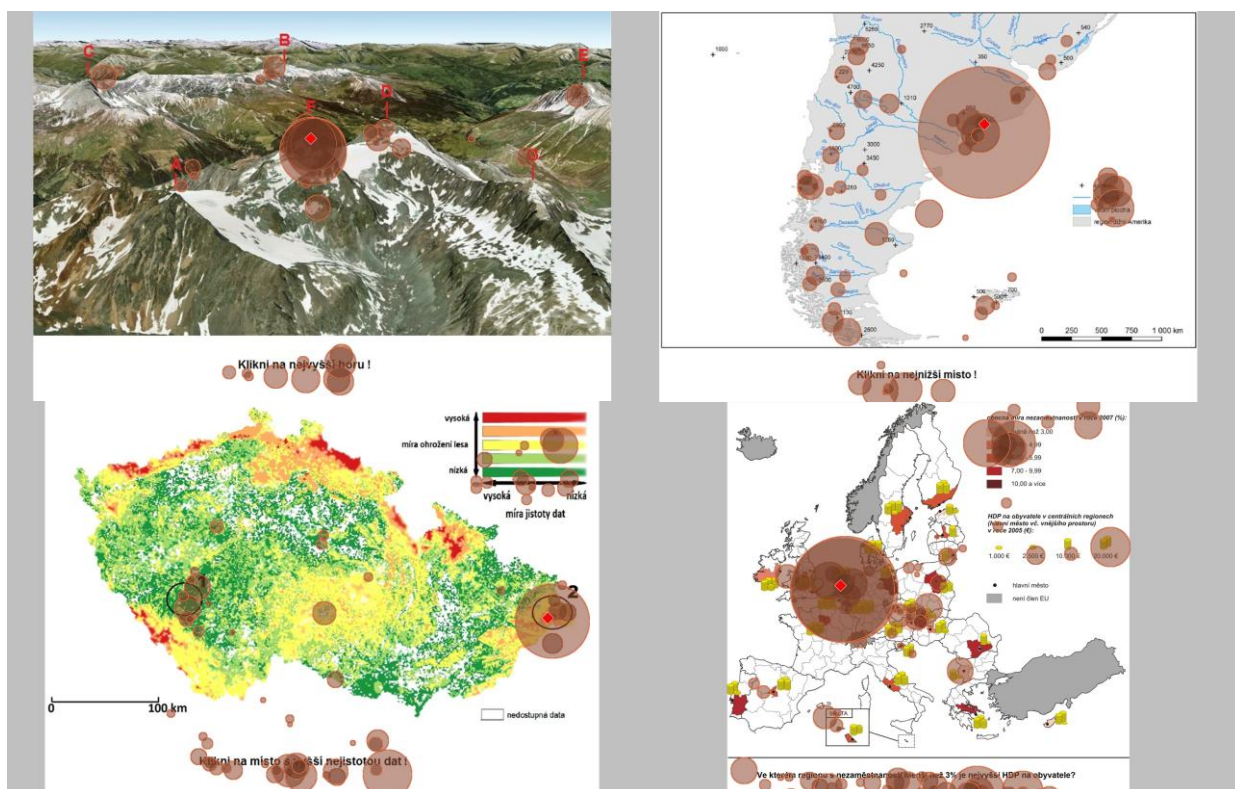
4.5 Srovnání se softwarem SMI BeGaze

Jelikož se na katedře geoinformatiky ke zpracování dat z ET systému používá primárně software BeGaze společnosti SMI, nabízí se otázka, jaké rozdíly se nachází mezi prezentovanými výsledky a výstupy ze zmíněného programu. Je to také ideální kontrola matematické přesnosti převodních mechanismů, které byly aplikovány ve dvou vytvořených programech ke konverzi dat. BeGaze vytváří fixace pouze algoritmem I-DT (parametry: duration 80 ms, dispersion 100 px). Parametry I-DT v námi testovaném klasifikátoru jsou odlišné (duration je 100 ms), avšak v druhém parametru nemáme hodnotu v pixelech, ale jak už bylo několikrát řečeno v úhlech.

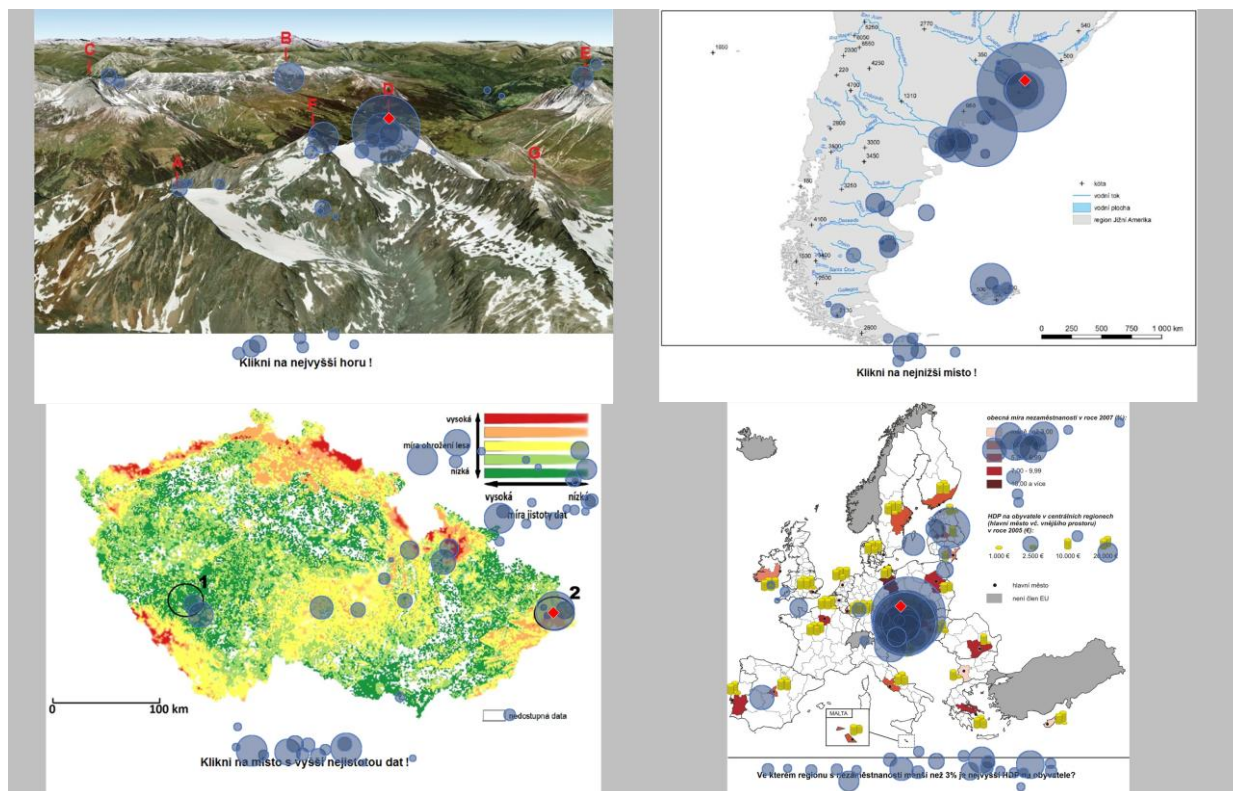
Při prvním shlédnutí je patrné, že algoritmus I-DT softwaru BeGaze vytváří větší množství shluků, než algoritmus námi testovaného klasifikátoru. Jeho výsledky se podobají spíše algoritmům I-HMM nebo I-MST. Celkový počet vytvořených shluků je však ještě větší a při letném pohledu je patrné, že je velmi citlivý i k místům, kam uživatel fixoval svůj pohled velmi krátkou dobu.

Z experimentálního testování zároveň vyplývá, že algoritmus I-DT našeho klasifikátoru při žádném nastavení nevytváří takové množství shluků jako I-DT programu BeGaze. Pro vysvětlení tohoto jevu by bylo zapotřebí znát podrobnější informace obou programů.

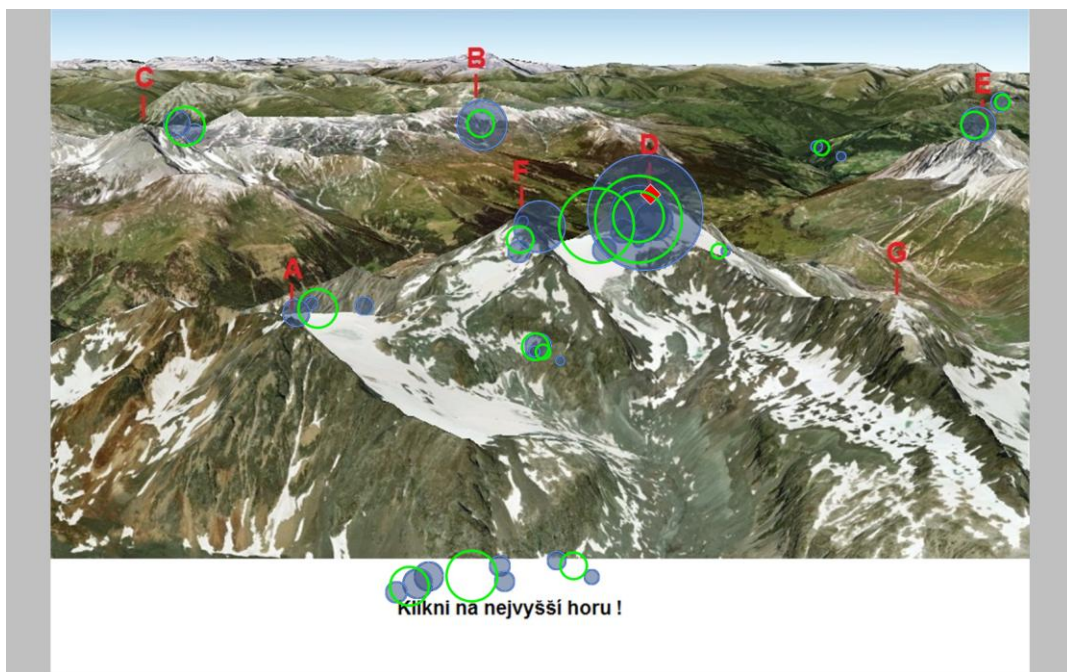
Co se týče polohové přesnosti a odchylek (BeGaze bude brán jako přesný vzor) lze konstatovat, že námi vytvořené mechanismy fungují spolehlivě a nedochází k významnějším nesrovnalostem. Odchyly nepřesahují několik málo milimetrů, což je dobře patrné zejména z malých a středně velkých, shodně vytvořených shluků. Srovnání lze vidět na obrázku 22.



Obr. 20: Shluky první osoby vytvořené ze surových dat programem BeGaze.



Obr. 21: Shluky vytvořené u druhé testované osoby ze surových dat programem BeGaze.



Obr. 22: Srovnání polohové přesnosti lze nejlépe pozorovat u shodně vytvořených středů shluků, například tedy u vrcholu B, nebo vrcholu E.

5 POZOROVANÁ ZJIŠTĚNÍ

5.1 Charakteristické rysy algoritmů

Vzhledem k výše řečenému se nabízí otázka, jestli je vůbec možné vyslovit nějaká doporučení pro dané geografické a kartografické úlohy. Opak je však pravdou. Veškerá následující slova je však nutno brát s rezervou a jen jako doporučení.

U algoritmu I-DT klasifikátoru (BeGaze ponechme stranou) můžeme vidět, že počet vytvořených shluků byl až na výjimky vždy suverénně nejnižší. Tak jednoznačně se však nedá konstatovat, že by sledovaná místa ignoroval, spíše měl tendence spojovat shluky dohromady a vytvářet shluky větší. Vzhledem k tomu, že zmíněná situace nastala téměř vždy a u obou uživatelů, lze konstatovat, že se jedná o jasný trend a nikoliv náhodu. V některých případech (první mapa, body D a F) však spojoval i větší shluky a nedokázal rozlišit tyto vrcholy od sebe jako zbylé algoritmy.

Pokud by existovala testování, která by vyžadovala dlouhou pozornost testované osoby, jeví se algoritmus I-DT poměrně dobře. Zvláště pak v případě, že by zhodnotitele testování zajímaly opravdu frekventované oblasti (oblasti nejvyššího zájmu) a tato místa by byla vzdálena od sebe. Takto působil například u čtvrté mapy, nevytvářel zbytečné množství shluků a vymezil ty nejdůležitější. Ještě účinnější by byl například v porovnávání HDP většího a méně osídleného kontinentu než je Evropa.

Jak už bylo řečeno algoritmy I-HMM a I-VT se chovaly velmi podobně. Mnohokrát vytvořily polohově i velikostně shodné shluky, a proto se dají shodnotit dohromady. Pouze ve třech z osmi případů byl počet shluků jiný a to vždy jen o jeden. Komentovat rozdíly je velmi obtížné, zajímavější je sledovat tendence obou algoritmů. Množstvím vytvořených shluků se řadí do kategorie nejpočetnějších, mnohdy byl rozdíl mezi nejnižším I-DT a těmito dvěma třetinový, což je při velikosti testovaného vzorku poměrně velké číslo. Oba algoritmy rovněž vytvořily největší počet nejmenších shluků a to i v poměru k celkovému počtu. Zobrazovaly tedy i oblasti nejnižšího zájmu, což je nejvíce podobné shlukům vytvořených programem BeGaze. Nejvíce patrné to je na poslední testované mapě při pohledu na zadání této úlohy. Ostatní algoritmy zde vytvořily alespoň jeden větší shluk, zatímco zmíněné dva větší řadu menších. Pokud jsme konstatovali, že algoritmus I-DT by se příliš nehodil pro úlohy podobné hledání nejvyššího místa na Zemi na mapě malého měřítka (Himaláje jsou na takové mapě malé),

I-HMM a I-VT by byly pro toto zadání algoritmy nejvhodnějšími. Tyto algoritmy rovněž dokážou vymezit nejsledovanější (top) oblast, s čímž má problém třeba algoritmus I-KF.

Algoritmus I-KF se počtem vytvořených shluků řadí spíše do středu. Patří do té skupiny algoritmů, které mají značně nepředvídatelné chování. To ale odpovídá samotné podstatě a principu této metody (předpovídání budoucích stavů). V mírné většině případů nemá tendenci vytvářet velké shluky v porovnání s ostatními algoritmy na shodných místech. I zde bychom našli výjimky, které se vyskytují zejména v textových částech našeho testu. V součtu si I-KF bere od každého z ostatních algoritmů něco, vytváří podobně velké shluky jako I-VT či I-HMM, nebo ignoruje některá místa jako I-DT. Na rozdíl od I-DT ale trpělivě zaznamenává každý bod (pokud ho zaznamená) a nepodléhá generalizaci v takové míře jako I-DT. Tuto metodu je ale velmi těžké doporučit pro jakýkoliv typ testování právě kvůli zde uvedeným důvodům.

Poslední algoritmus I-MST vytvářel jen o něco více shluků než I-KF a přesto měl lepší vypovídací hodnotu, než všechny zbylé algoritmy. Až na velice málo výjimek má nejlepší odhad, kdy je vhodné shluky spojit do jednoho a kdy ponechat odděleně. V našem testování nebyl problém ani s vyjádřením nejsledovanějších oblastí a vytvořením největšího shluku v takovém místě. V první testované mapě správně oddělil shluky mezi vrcholy D a F shodně jako ostatní algoritmy (kromě I-DF), na druhou stranu vhodně spojil shluky v textové části druhé či třetí mapy. Ve čtvrté mapě vytvořil v horní části legendy jeden větší shluk jako I-DT, ve spodní části legendy se však choval odlišně a nespojil hodnoty HDP. Jako jediný algoritmus v téže mapě zachytil pohled na Slovinsko. Jediný nedostatek je občasné vytváření velkých shluků v textové části.

5.2 Nejvhodnější algoritmus

O žádném algoritmu se nedá konstatovat, že by byl beze všeho dokonalý, každý má své klady i zápory, některý však více, jiný méně. Rovněž ale platí, že jestliže uživatel určité místo opravdu sleduje, každá z uvedených metod tento pohled zaznamená. Pokud by měl být však jmenován nejuniverzálnější algoritmus, jehož chování je předvídatelné a vypovídací hodnota největší, pak je to I-MST (Minimum spanning tree identification).

V této práci se tedy algoritmus I-MST choval ze všech nejvhodněji. Nevytvářel menší počet shluků na úkor vypovídací hodnoty, zaznamenal každou sledovanou oblast, vymezil nejsledovanější oblasti a ve většině případů vhodně spojil shluky do většího celku. Pro univerzální testování bez rozdílu typu a účelu se jeví tento algoritmus nejlépe.

6 DISKUZE

Tato diplomová práce se věnuje shlukování v analýze dat z ET systému a zde jsou popsány problémy, které při práci vznikly společně s jejich řešením.

Již v začátcích tvorby této práce se vyskytl nedostatek a první obtížnost ve formě několika souřadnicových systémů, které používají různé firmy zabývající se systémy na sledování pohybu lidských očí. Zejména se jedná o giganty v této oblasti, společnosti SMI a Tobii technology. Tato skutečnost byla vyřešena tvorbou vlastního programu. Přesto se nabízí otázka, zda by lepší interoperabilita (jako v jiných oborech) a spolupráce všech firem alespoň v této oblasti nevedla k větší spokojenosti všech stran a zjednodušení řady výzkumů.

Další vzniklý problém v této práci se týkal vstupního souboru klasifikátoru, resp. jeho formátu. Vzhledem k neznalosti jeho struktury docházelo k přepisování již existujících souborů, které byly součástí klasifikátoru. Tento nedostatek však nijak neovlivnil žádnou z částí celé práce.

Další námět k diskuzi úzce souvisí se zmíněnou problematikou souřadnicových systémů a s vizualizací. Vzhledem k nutnosti konverze výsledných fixací do pixelového s.s. nastal problém s jejich zobrazením. To se nakonec uskutečnilo v programu GIMP, v případě většího testování by však celá vizualizace zabrala velké množství času.

Zcela odlišným tématem k diskuzi jsou samotné programy vytvořené v této práci. Pevně stanovené hodnoty (vzdálenost očí od monitoru, rozlišení displeje, aj.) značně omezují možnosti využití těchto programů. Vytvoření uživatelského prostředí by tyto problémy jistě odstranilo, k tomu by však bylo zapotřebí daleko sofistikovanějších programátorů než je autor tohoto dokumentu. Řešení tohoto typu by však primárně mělo být jedním z cílů komerčních firem.

Posledním a nejdůležitějším zde uvedeným námětem jsou samotné parametry algoritmů. Do budoucna by bylo správné jednotlivé algoritmy podrobit důslednějšímu zkoumání, které by vedly k přesnějšímu určení chování každého z algoritmů. Rozsah zprávy ze zkoumání byť jen jednoho z algoritmů by byl shodný s rozsahem celé této diplomové práce. Na takový výzkum by bylo zapotřebí daleko většího množství pracovní síly a času.

7 ZÁVĚR

Diplomová práce byla vytvořena na Katedře geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Cílem této diplomové práce bylo analyzovat data získaná z eye tracking systému pomocí algoritmů shlukování.

Úvod práce obsahuje velmi stručný popis eye tracking systému a charakteristiku všech typů očních pohybů, které ovlivňují analýzu získaných dat. Tato data jsou zpracována pomocí různých algoritmů, jejichž základní principy jsou rovněž uvedeny.

Nejdůležitější částí bylo vlastní testování, které probíhalo v prostředí programu MATLAB. Testovány byly 4 mapové vstupy dvěma osobami. Výsledky testování byly vhodnou formou vizualizovány a nalezené rozdíly mezi metodami popsány. Na závěr byly navrženy nejvhodnější metody pro dané typy geografických úloh.

V rámci práce byly vytvořeny dva konverzní programy, které řeší problematiku odlišných souřadnicových systémů a značně tak ulehčují fázi přípravy i zpracování dat.

Součástí tvorby této diplomové práce jsou webové stránky pro prezentaci daného tématu. Zde jsou popsány všechny fáze při vytváření této práce.

8 POUŽITÉ ZDROJE

8.1 Knihy

HOLMQVIST, K. et al. Eye tracking: A Comprehensive guide to methods and measures. Oxford University Press. 2011, s. 560. ISBN: 9780199697083.

8.2 Odborné časopisy

BLIGNAUT, P. Fixation identification: The optimum threshold for a dispersion algorithm. *Attention, Perception, & Psychophysics*. Volume: 71, 2009, 881 – 895.

SKOPALÍK, A. Oko a brýle. *Soudní inženýrství*. Ročník: 15, 2004, s. 251 – 253.

8.3 Sborníky

SHIC, F. et al. *The incomplete fixation measure*. Eye tracking research and application symposium (ETRA 2008). ISBN: 9781595939821.

8.4 Internetové zdroje

CSEKES, A. *Oční pohyby: Csekes, A.* [online]. 2008 [cit. 2013-03-12]. Detekce směru pohybu. Dostupné z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=9477>.

GRYGORASH, O. et al. *Minimum spanning tree algorithms: Grygorash, O. et al.* [online]. 2006 [cit. 2013-03-13]. Minimum spanning tree based clustering algorithms. Dostupné z WWW: <<http://zachjorgensen.com/ictai06.pdf>>.

JANSEN, C. *Definition – what does C# mean?: Jansen, C.* [online]. 2010 [cit. 2013-03-13]. C# (C Sharp). Dostupné z WWW: <<http://www.techopedia.com/definition/26272/c-sharp>>.

KOMOGORTSEV, O. *I-MST: Komogortsev, O.* [online]. 2009 [cit. 2013-03-13]. Qualitative and quantitative scoring and evaluation of the eye movement classification algorithms. Dostupné z WWW: <<http://digital.library.txstate.edu/bitstream/handle/10877/2577/fulltext.pdf?sequence=1>>

KOMOGORTSEV, O. et al. *Automatic analysis of oculomotor behavior: Komogortsev, O. et al.* [online]. 2010 [cit. 2013-03-13]. Standardization of automated analyses of oculomotor fixation and saccadic behaviors. Dostupné z WWW: <http://cs.txstate.edu/~ok11/papers_published/2010_TBME_Ko_Go_Uk_Ko_Mu.pdf>.

MOŠNEROVÁ, J. *Algoritmy pro detekci fixací: Mošnerová, J.* [online]. 2012 [cit. 2013-03-12]. Praktické postupy v elektrookulografii. Dostupné z WWW:
<http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52344>.

PUNKO, A. *Fyziologie řízení oční hybnosti: Punko, A.* [online]. 2007 [cit. 2013-03-12]. Fyziologie a patologie očních pohybů. Dostupné z WWW:
<http://is.muni.cz/th/142408/lf_b/Bakalarska_prace.txt>.

SALVUCCI, D. *HMM fixations: Salvucci, D.* [online]. 1999 [cit. 2013-03-12]. Mapping eye movements to cognitive processes. Dostupné z WWW:
<https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.68.6369%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&ei=DUv9UN6lJs-QhQfDqIHQCg&usg=AFQjCNG5pCu2MZmf-DIDeccueO0rfTepoQ&sig2=-ddYuIClxtjfuv_Tzn36QQ>.

SALVUCCI, D., GOLDBERG, J. *Velocity based algorithms: Salvucci, D., Goldberg, J.* [online]. 2000 [cit. 2013-03-13]. Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. Dostupné z WWW:
<<https://www.cs.drexel.edu/~salvucci/publications/Salvucci-ETRA00.pdf>>.

ŠVANDOVÁ, I. *Bioelektrické jevy: Švandová, I.* [online]. 2013 [cit. 2013-03-12]. Bioelektrické jevy a jejich měření. Dostupné z WWW:
<http://magnerovci.com/prednaska_7.pdf>.

SUMMARY

This work consists of a very brief description of eye tracking system with characteristic of all types of eye movements, which affect analysis of acquired data. These data are processed with help of various algorithms. Basic principles of algorithms are also quoted.

Aim of this work is data analysis of data of eye tracking system with cluster methods. Information about cluster methods and algorithms were adopted from literature. Author uses all the acquired knowledge to test respondents. The testing used MATLAB program. Four maps were tested by two people. Attention was paid to presentation of differences in process of making clusters. This fact is stressed more than physiological (and other) attributes of tested people. Results of testing serve to recommend the most suitable methods for geographical tasks. During creation of this study many uncertainties and problems occurred. The most important ones are described.

In the beginning of creating this work the first defect and difficulty in various coordinate systems, which are used by different companies dealing with eye tracking system, occurred. This fact was solved by production of own programs. Despite this the question is if better interoperability like in other spheres and cooperation of all companies in this branch, will lead to satisfaction of all sides and simplifying many researches.

Next topic to solve nearly relates with mentioned problematics of coordinate systems and with visualization. Due to the necessity of conversion of output clusters to pixel coordinate system the problem with their visualization arised. Visualization finally ran in GIMP program, in case of huger testing the visualization would take big amount of time.

According to the character and range of work it was impossible to test all algorithms (and their parameters) on higher level. It would be desired to the future to change this aspect and to test each algorithm precisely.

In terms of this paper a website for its presentation was created. In the text all the steps done during making this paper were described.

SEZNAM PŘÍLOH

VÁZANÉ PŘÍLOHY:

Příloha 1: Galerie: Shluky vytvořené první osobou

Příloha 2: Galerie: Shluky vytvořené druhou osobou

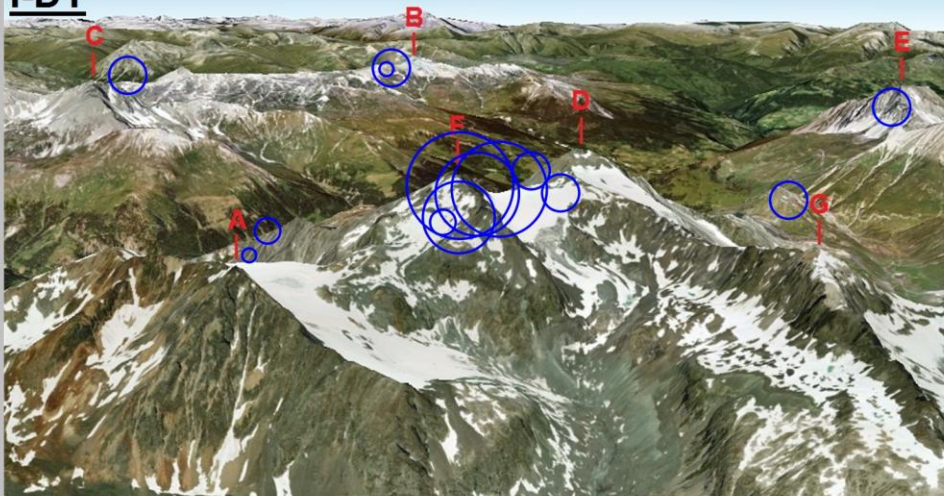
VOLNÉ PŘÍLOHY:

- Vstupní data
- Výstupní data
- Konverzní programy
- Textová část diplomové práce
- Webové stránky k diplomové práci

PŘÍLOHY

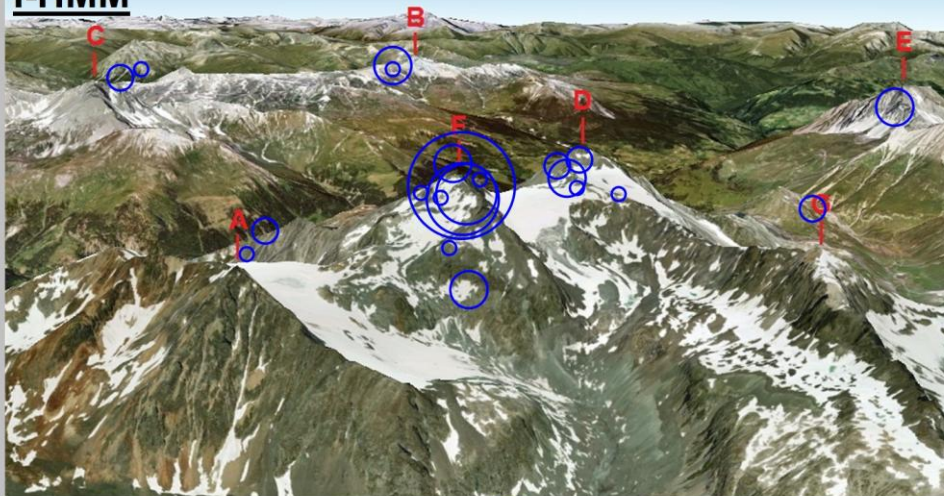
Příloha 1: Galerie: Shluky vytvořené první osobou

I-DT



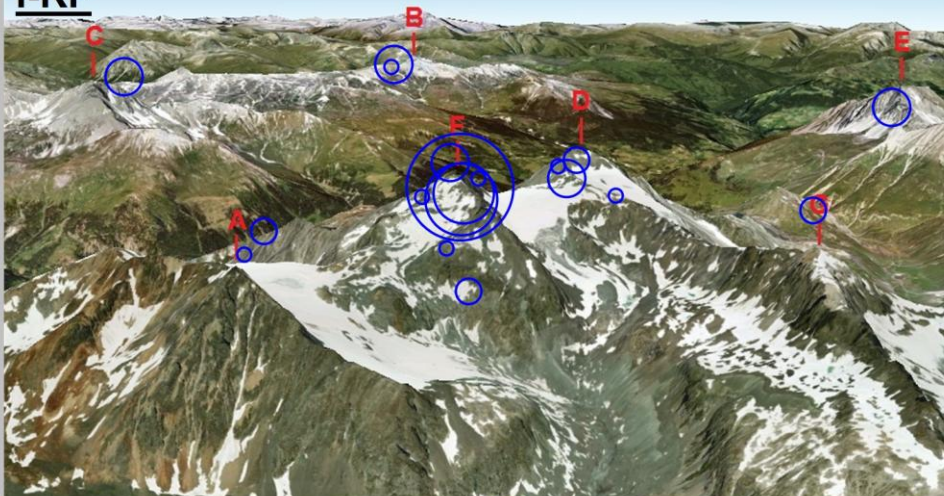
Klikni na nejvyšší horu !

I-HMM



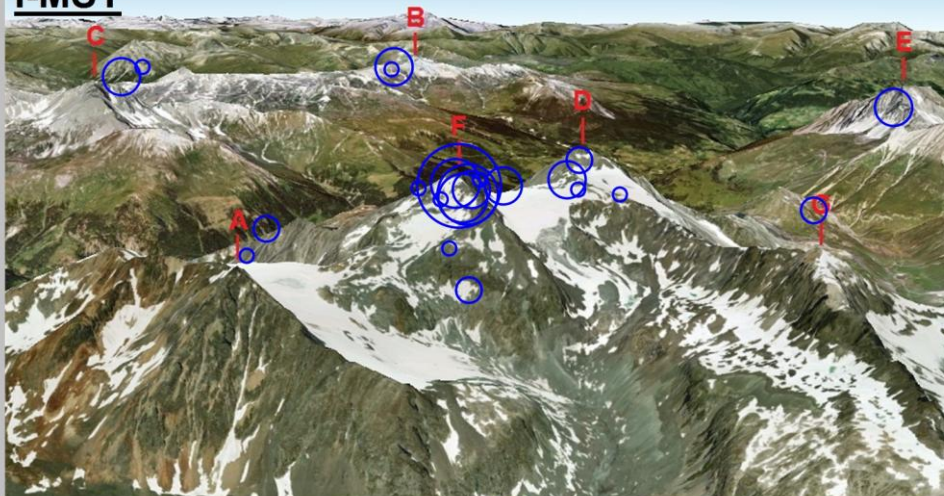
Klikni na nejvyšší horu !

I-KF



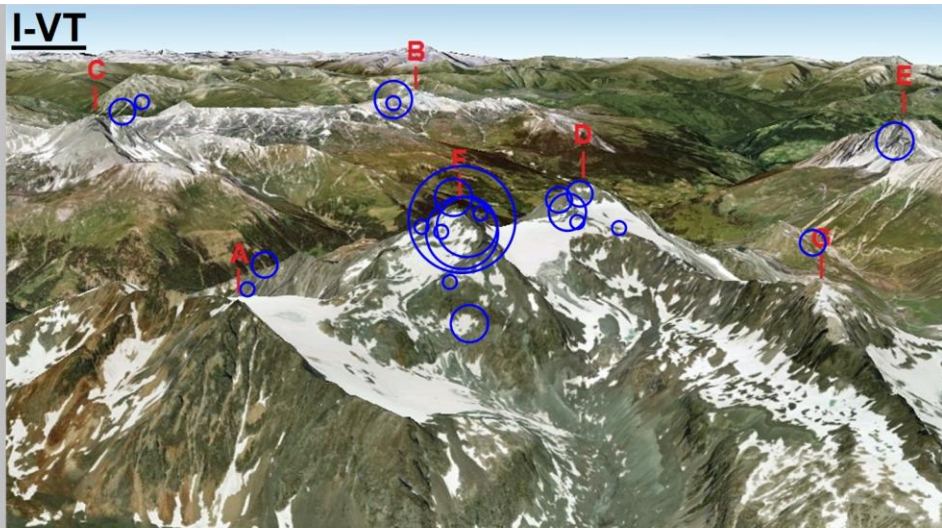
Klikni na nejvyšší horu !

I-MST



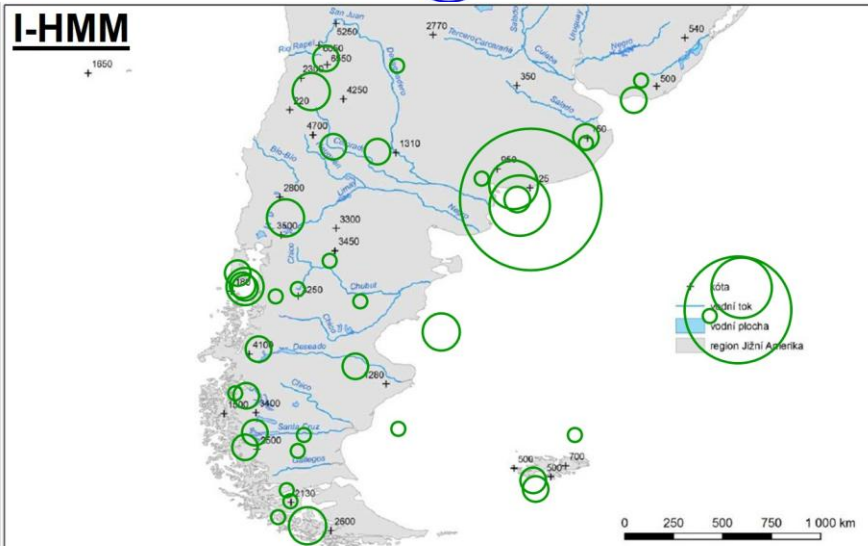
Klikni na nejvyšší horu !

I-VT



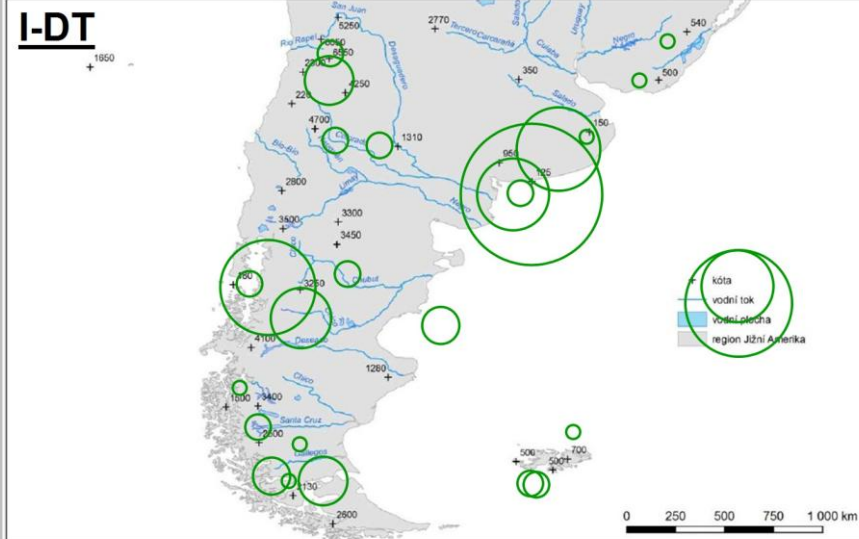
Klikni na nejvyšší horu !

I-HMM



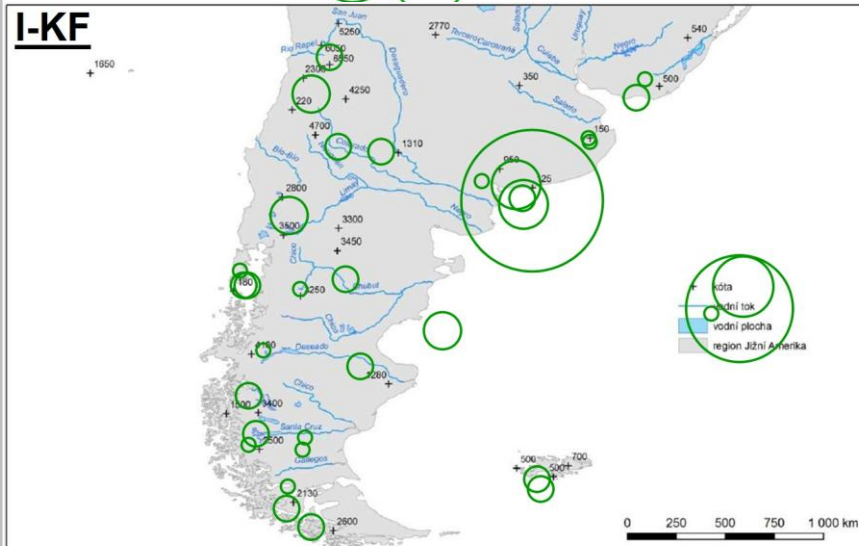
Klikni na nejnižší místo !

I-DT



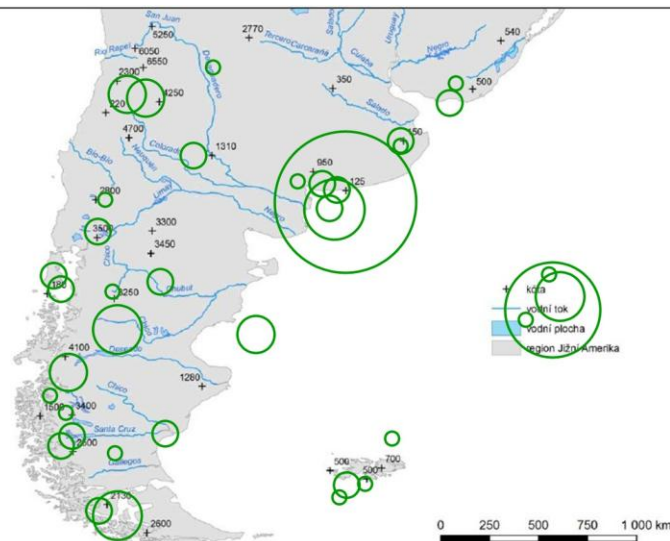
Klikni na nejnižší místo !

I-KF



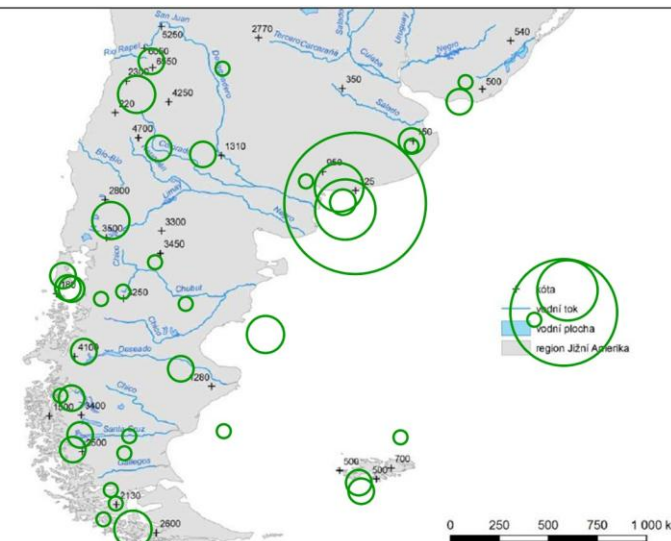
Klikni na nejnižší místo !

I-MST



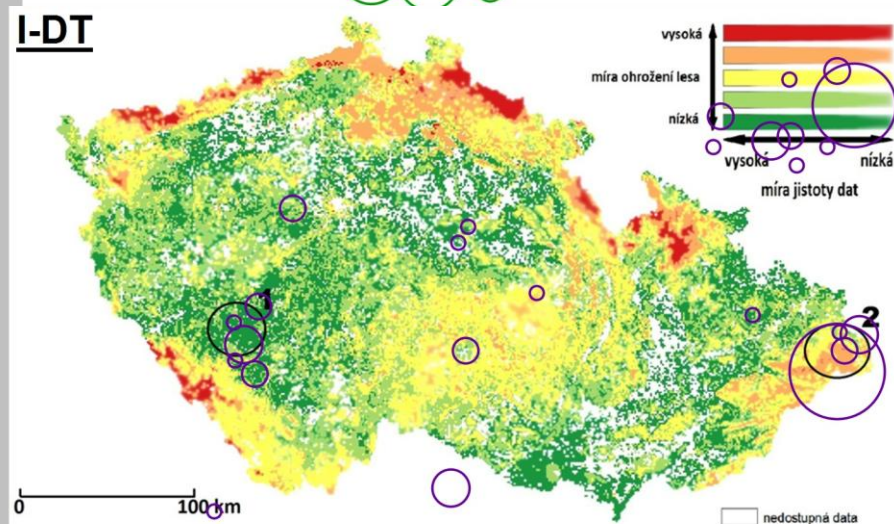
Klikni na nejvyšší místo !

I-VT



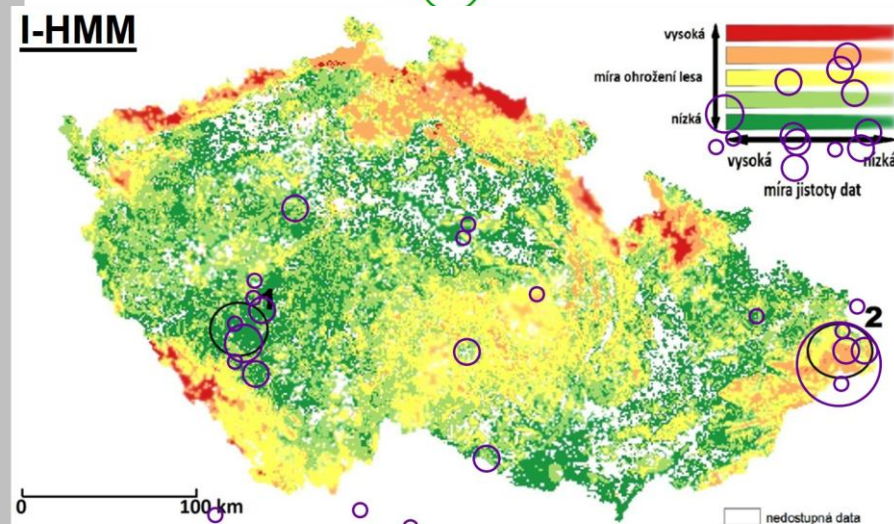
Klikni na nejvyšší místo !

I-DT



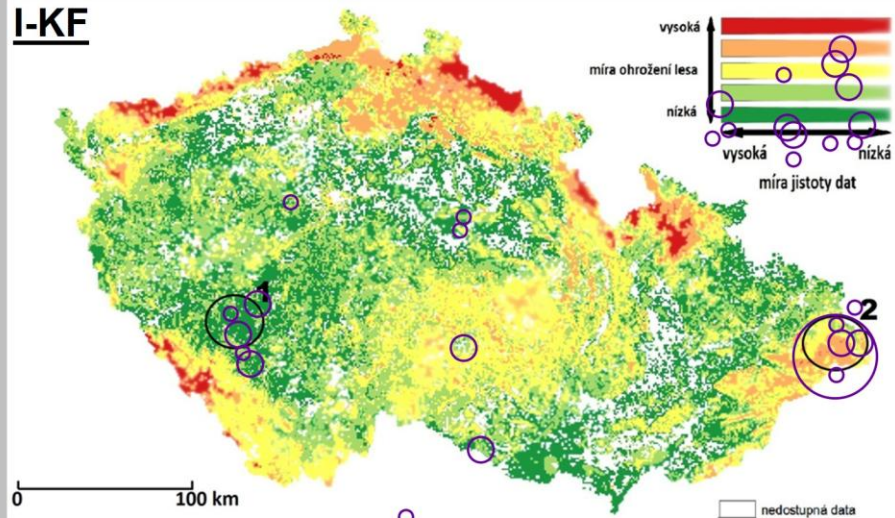
Klikni na místo s vyšší nejistotou dat !

I-HMM



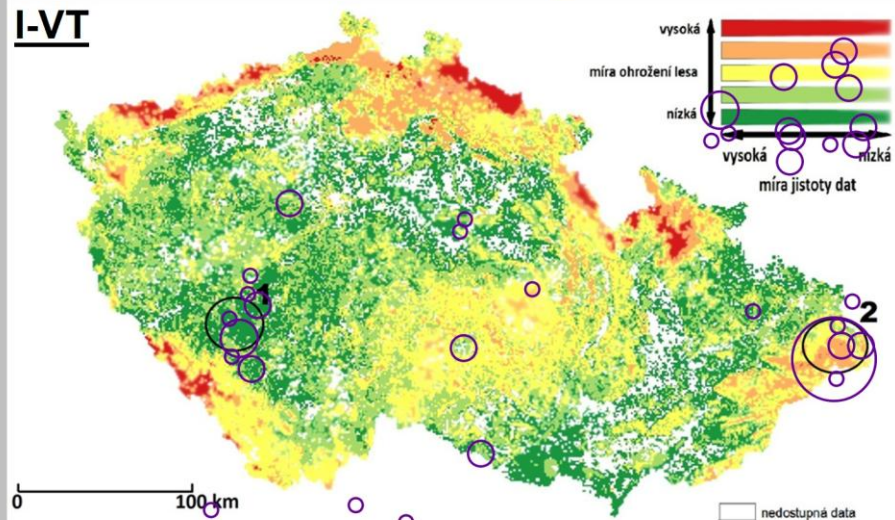
Klikni na místo s vyšší nejistotou dat !

I-KF



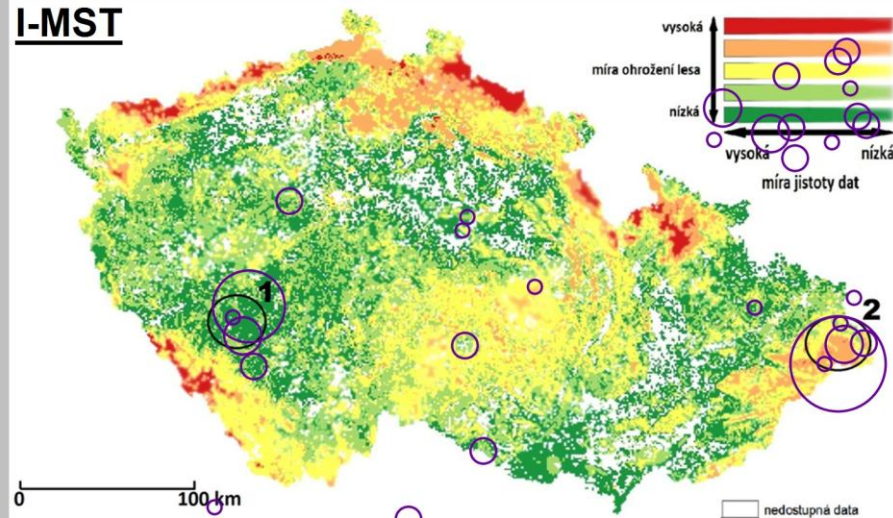
Klikni na místo s vyšší nejistotou dat!

I-VT



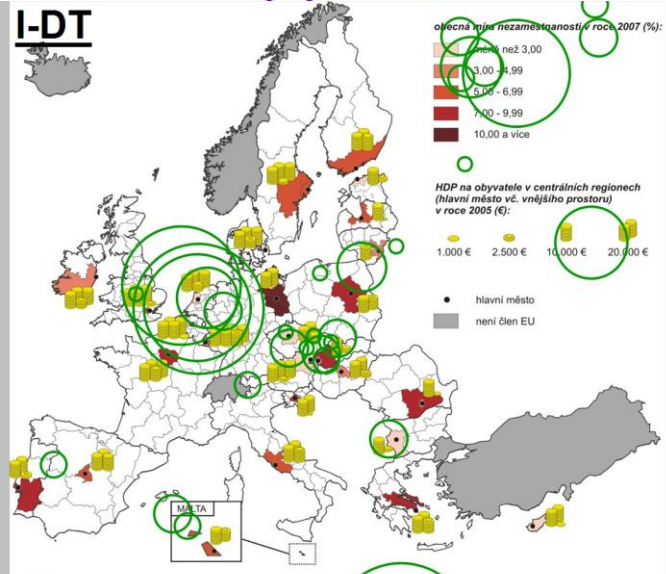
Klikni na místo s vyšší nejistotou dat!

I-MST



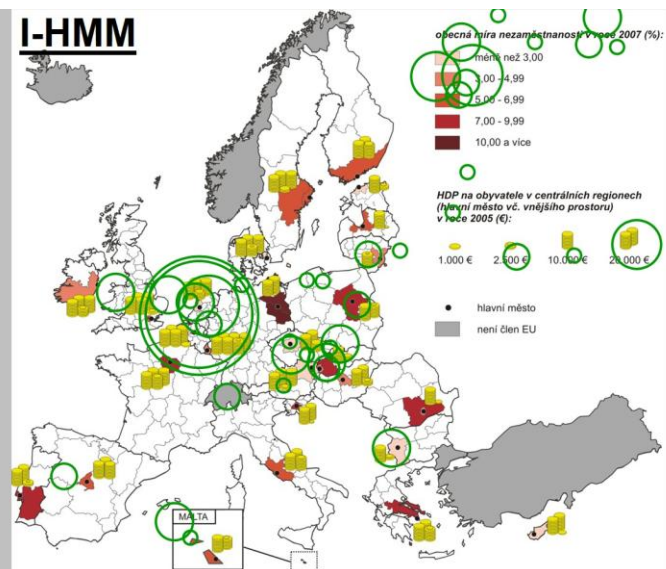
Klikni na místo s vyšší nejistotou dat!

I-DT



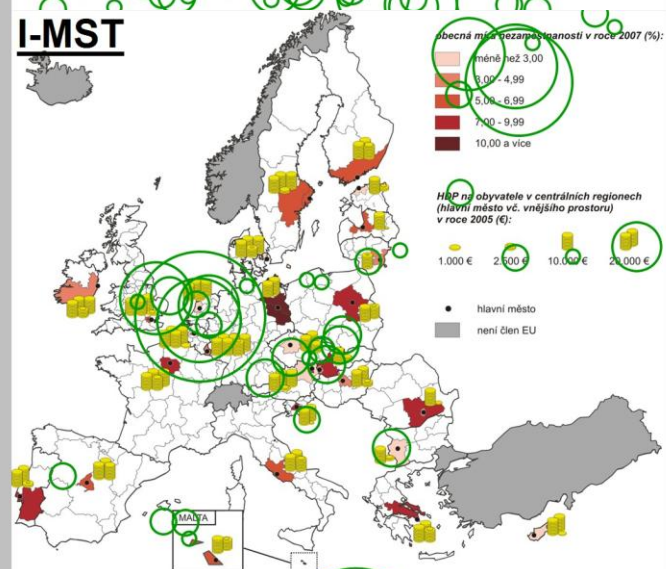
Ve kterém regionu s nezaměstnaností méně než 3% je nejvyšší HDP na obyvatele?

I-HMM



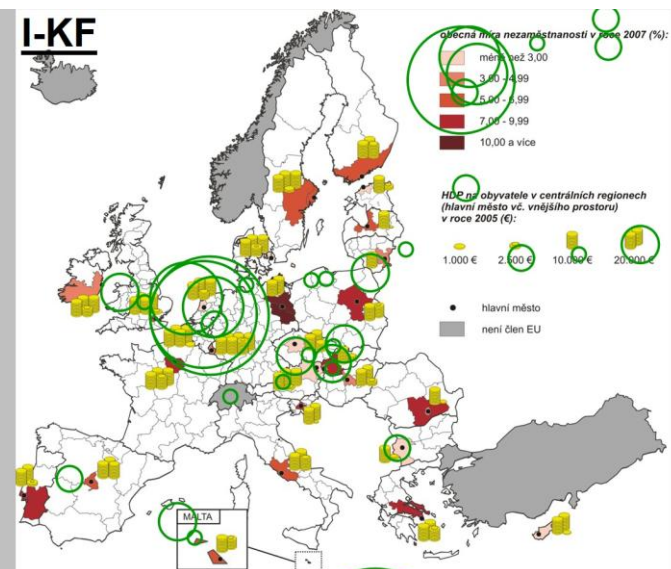
Ve kterém regionu s nezaměstnaností menší než 3% je nejvyšší HDP na obyvatele?

I-MST



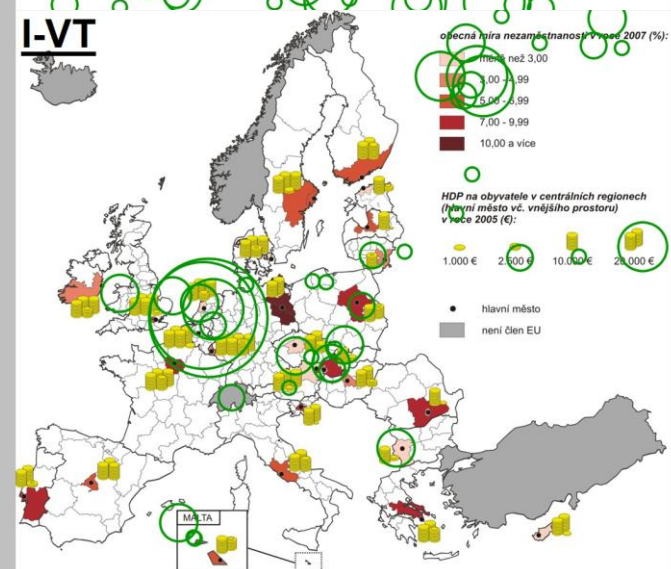
Ve kterém regionu s nezaměstnaností menší než 3% je nejvyšší HDP na obyvatele?

I-KF



Ve kterém regionu s nezaměstnaností menší než 3% je nejvyšší HDP na obyvatele?

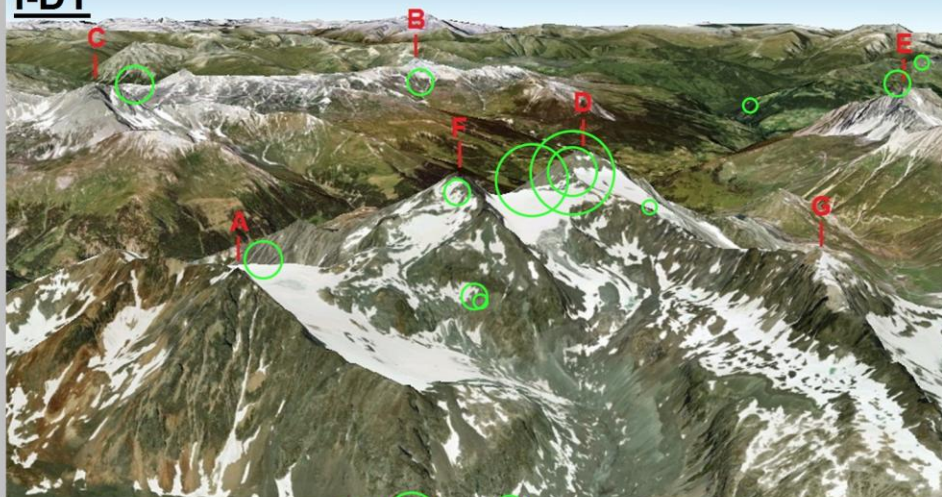
I-VT



Ve kterém regionu s nezaměstnaností menší než 3% je nejvyšší HDP na obyvatele?

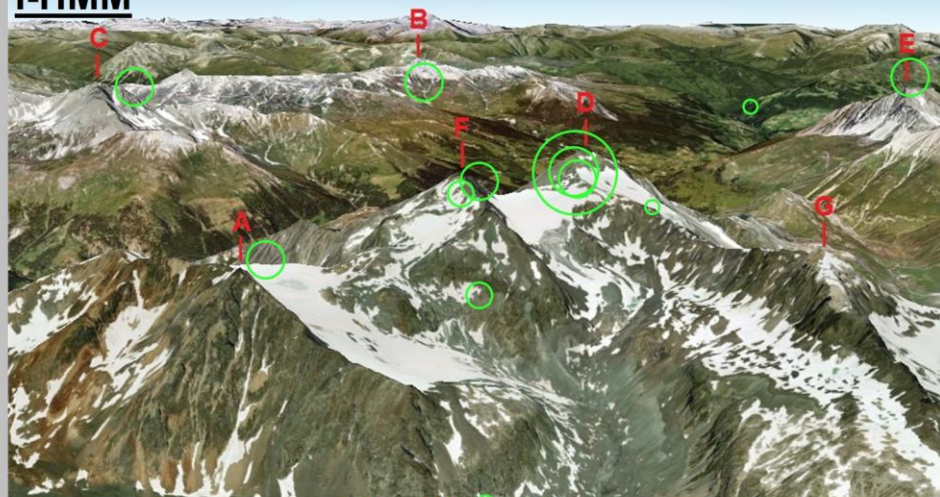
Příloha 2: Galerie: Shluky vytvořené druhou osobou

I-DT



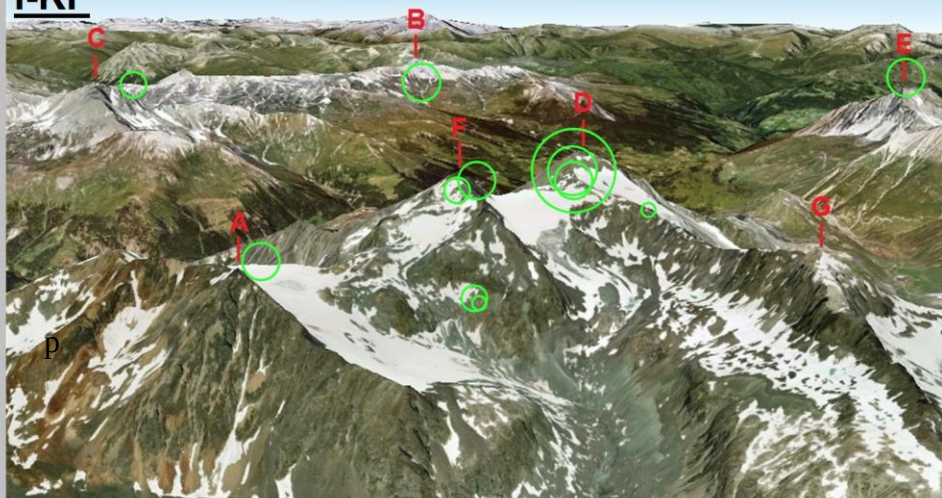
Klikni na nejvyšší horu !

I-HMM



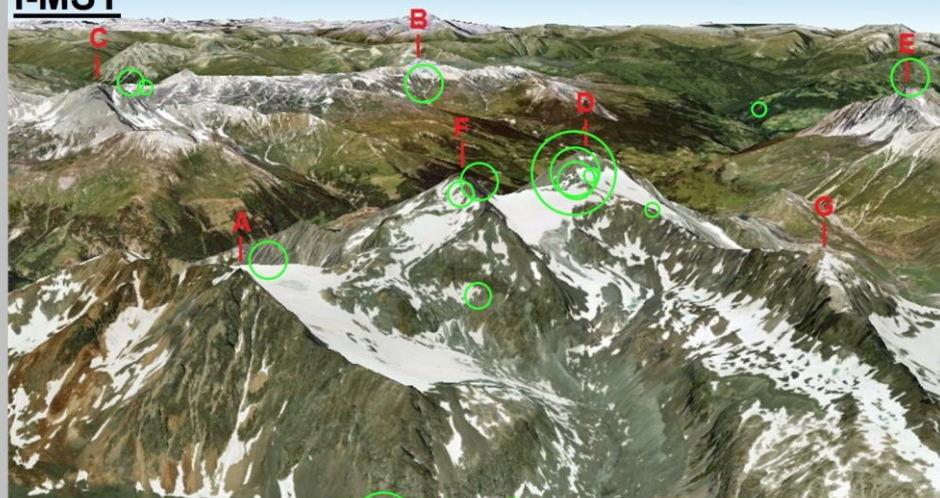
Klikni na nejvyšší horu !

I-KF



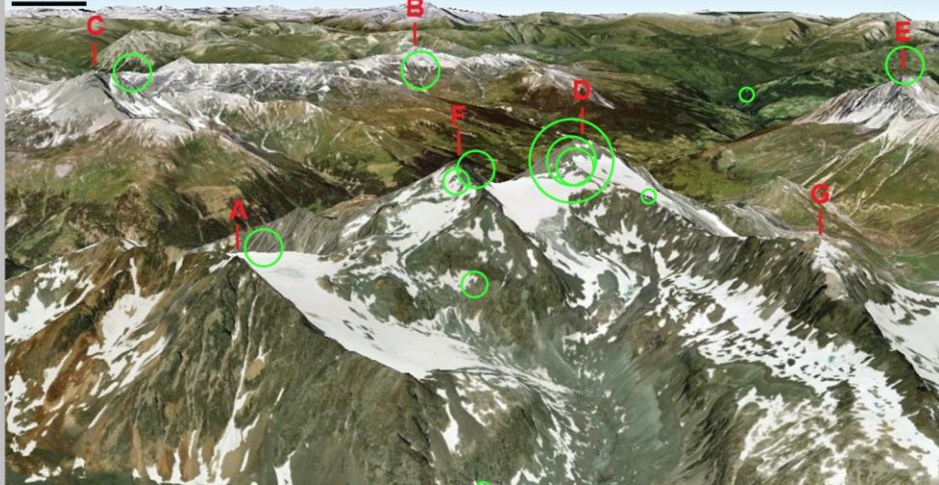
Klikni na nejvyšší horu !

I-MST



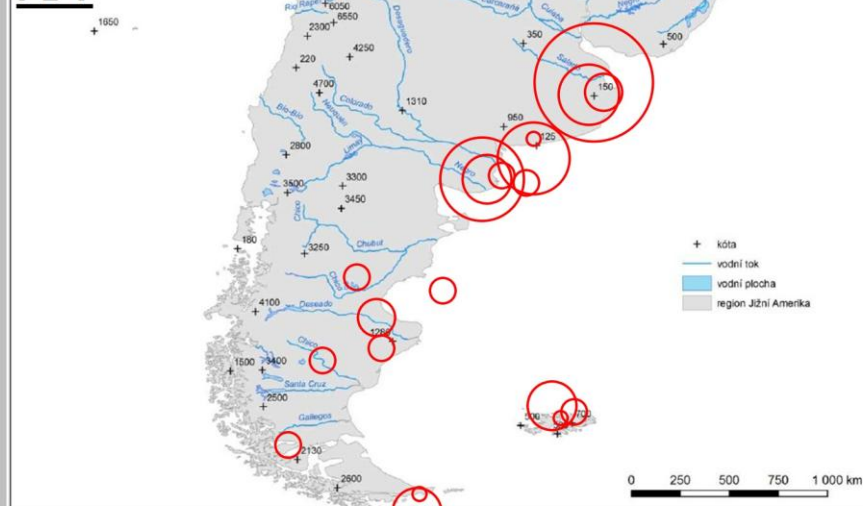
Klikni na nejvyšší horu !

I-VT



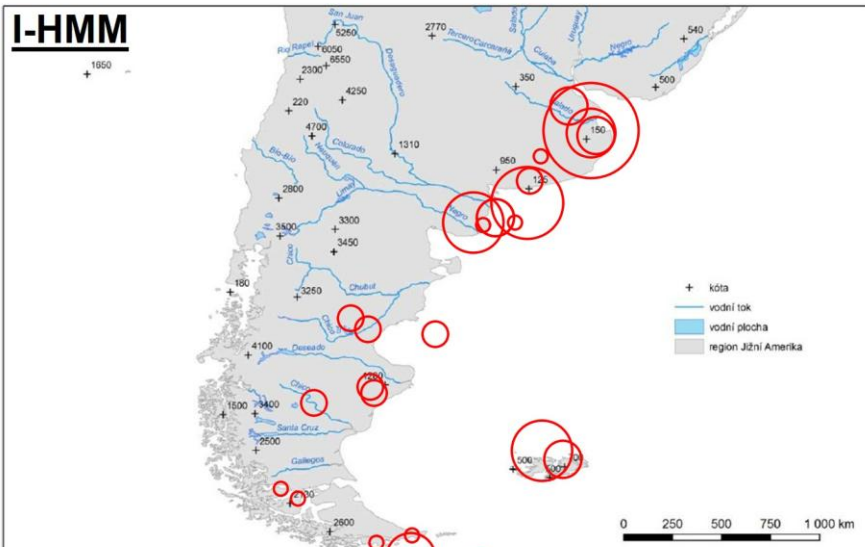
Klikni na nejvyšší horu !

I-DT



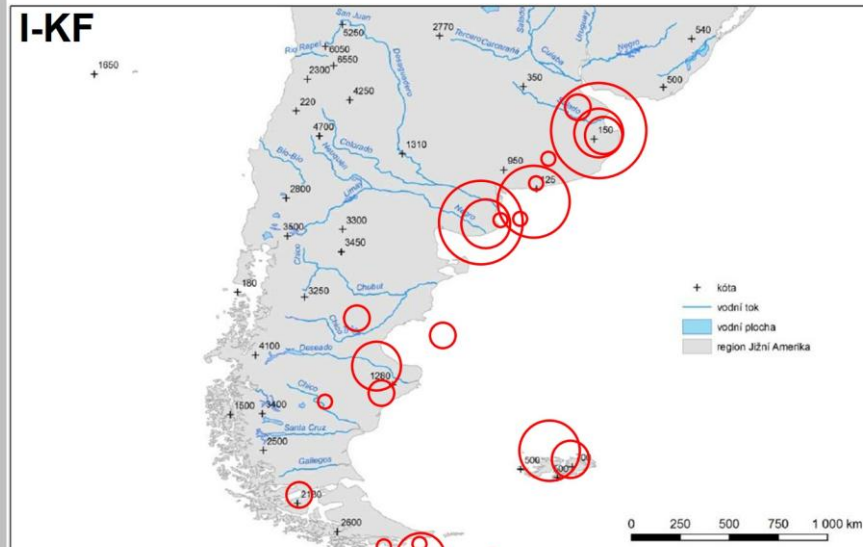
Klikni na nejnižší místo !

I-HMM



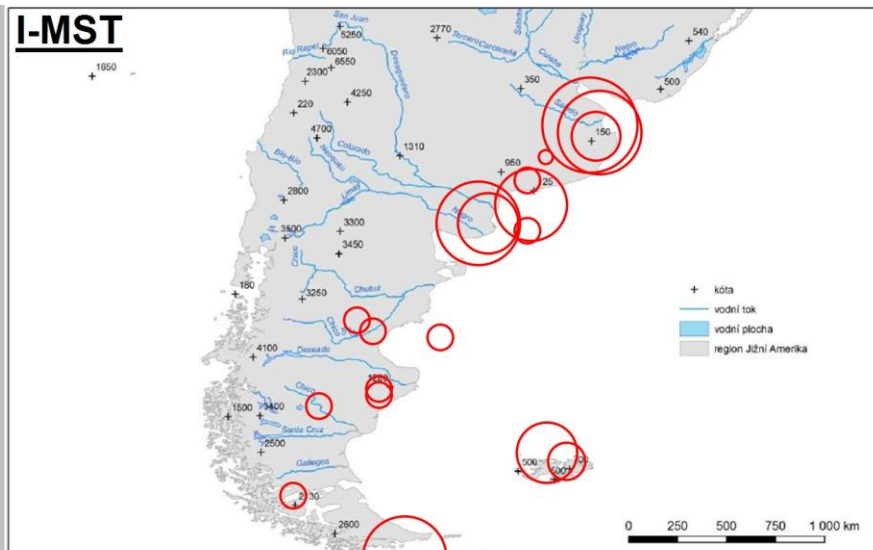
Klikni na nejnižší místo !

I-KF



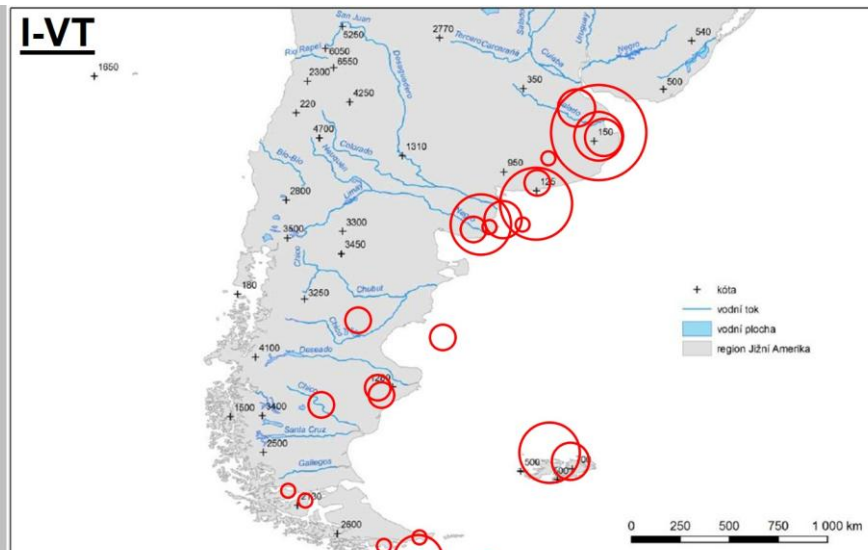
Klikni na nejnižší místo !

I-MST



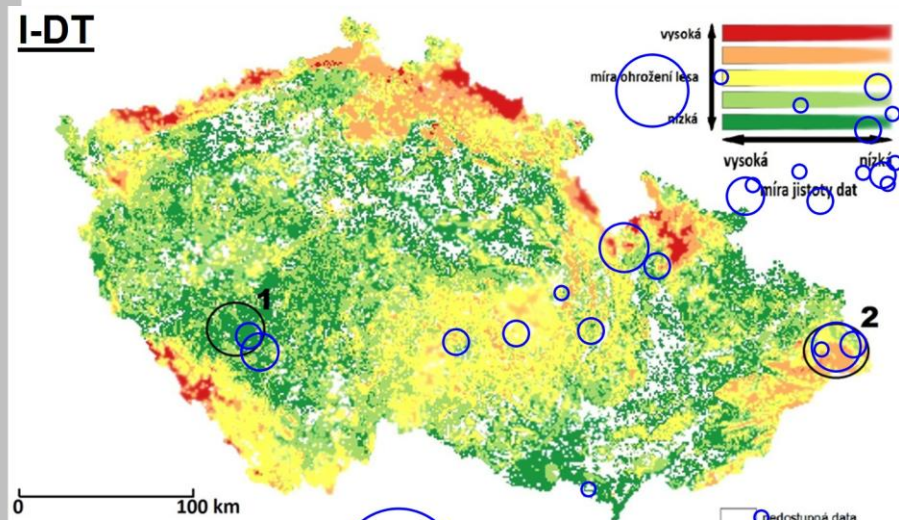
Klikni na nejnižší místo !

I-VT



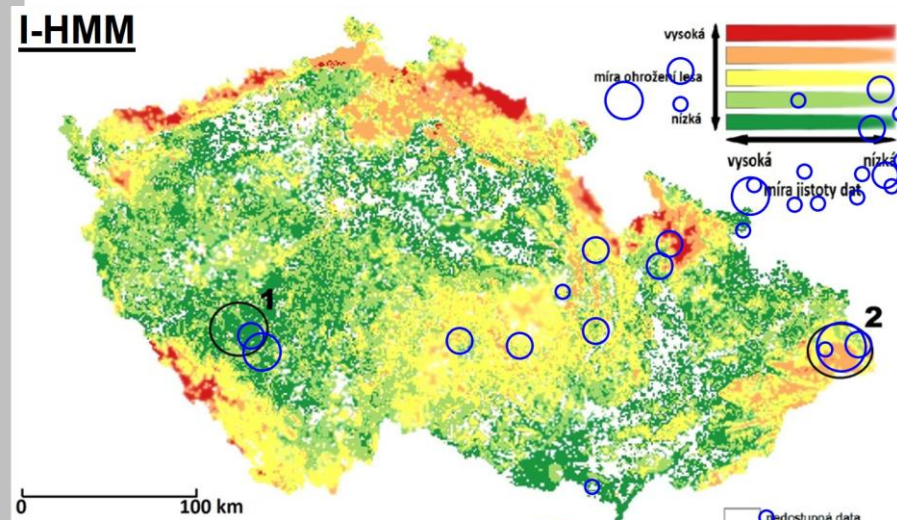
Klikni na nejnižší místo !

I-DT



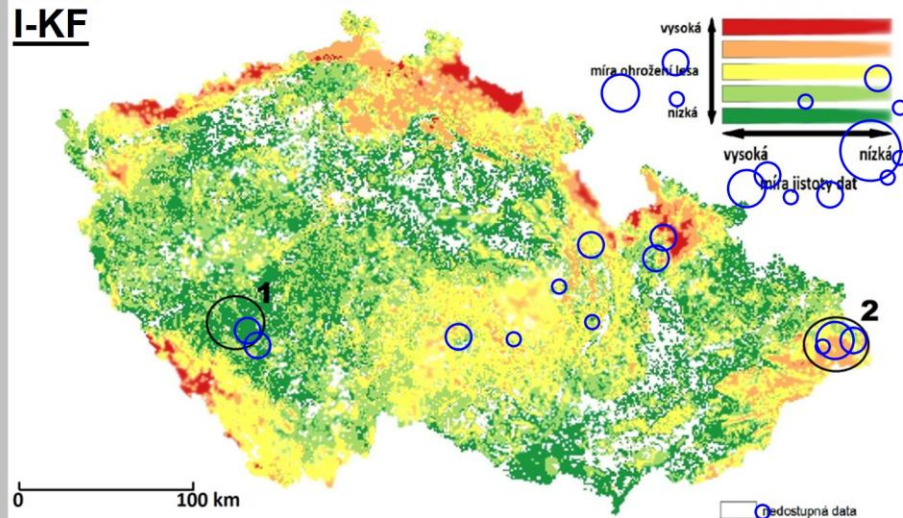
Klikni na místo s vyšší nejistotou dat !

I-HMM



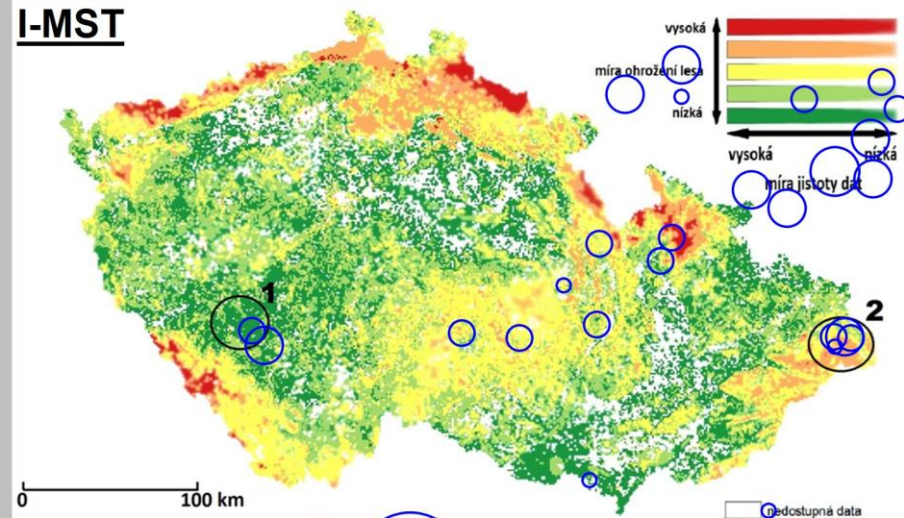
Klikni na místo s vyšší nejistotou dat !

I-KF



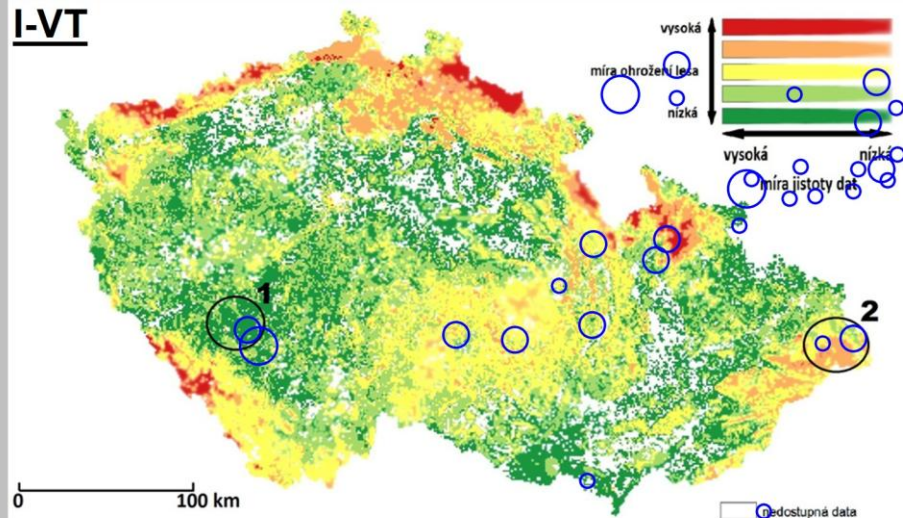
Klikni na místo s vyšší nejistotou dat!

I-MST



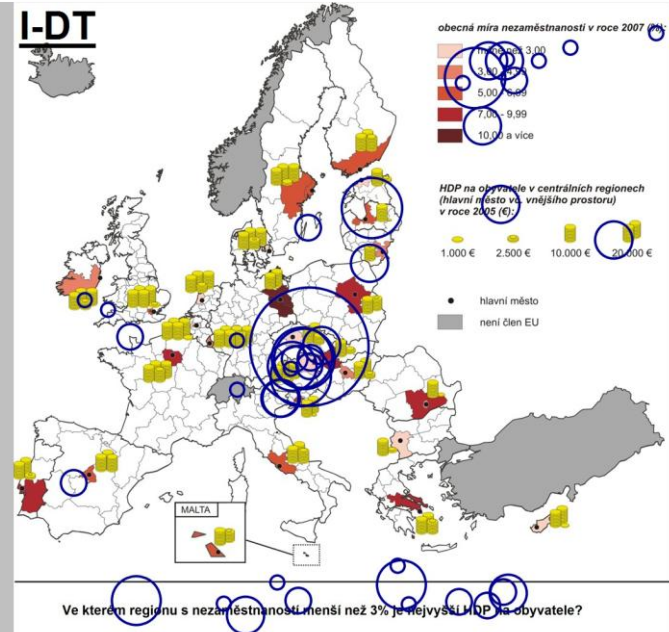
Klikni na místo s vyšší nejistotou dat!

I-VT

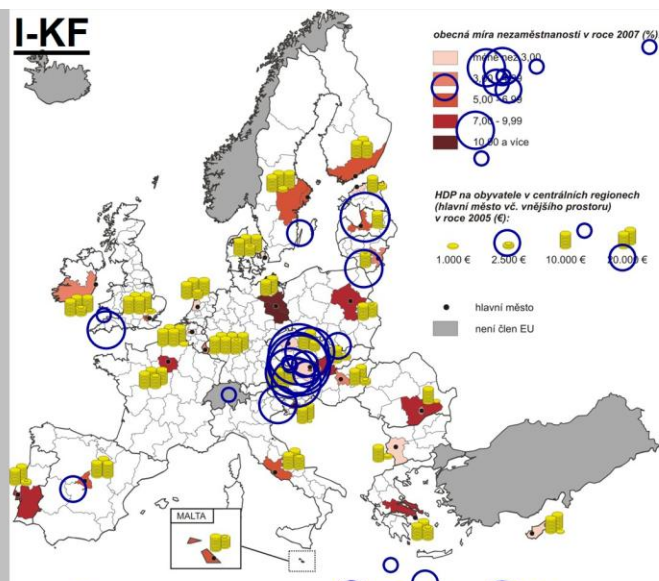


Klikni na místo s vyšší nejistotou dat!

I-DT

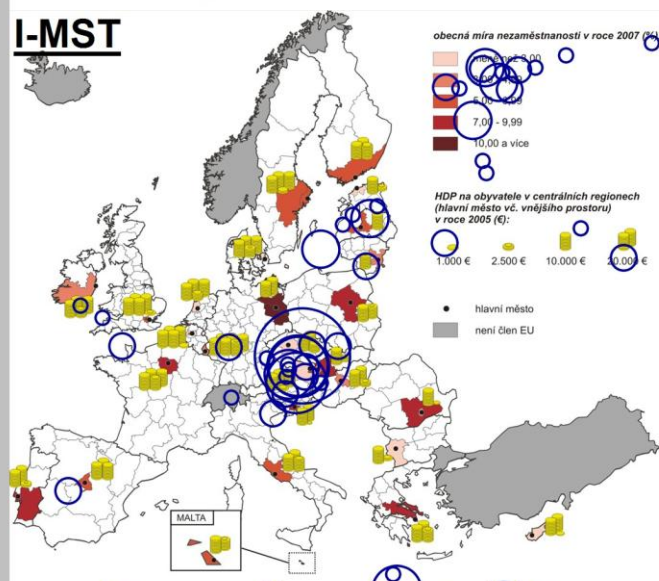


I-KF



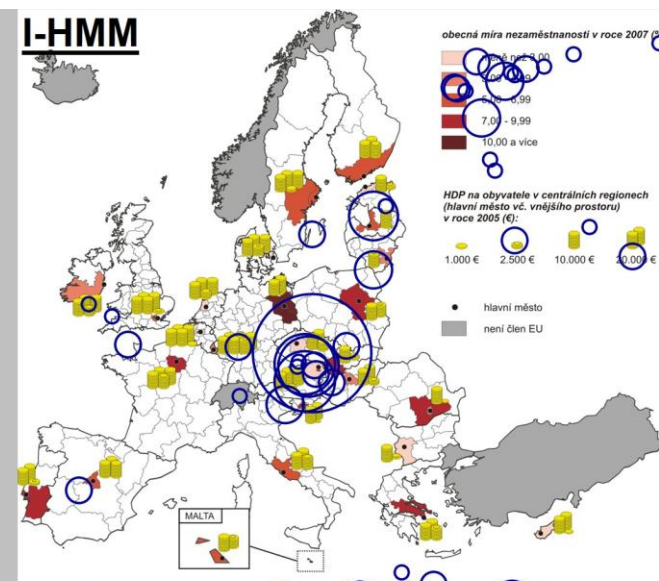
Ve kterém regionu s nezaměstnaností menší než 3% je nejvyšší HDP na obyvatele?

I-MST



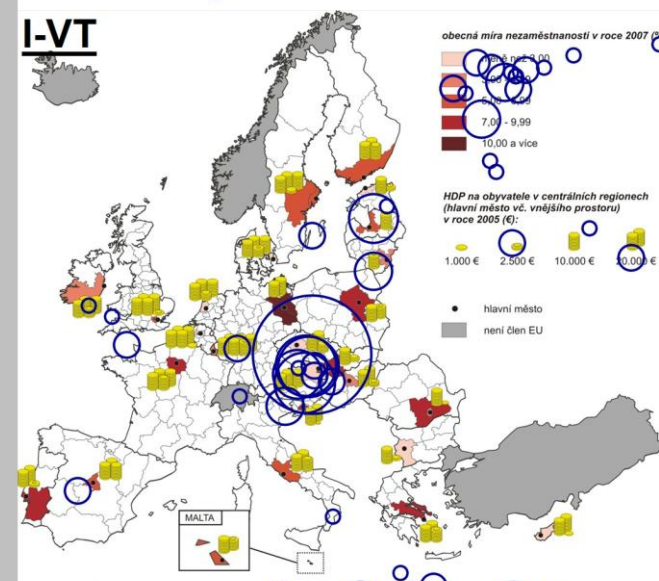
Ve kterém regionu s nezaměstnaností menší než 3% je nejvyšší HDP na obyvatele?

I-HMM



Ve kterém regionu s nezaměstnaností menší než 3% je nejvyšší HDP na obyvatele?

I-VT



Ve kterém regionu s nezaměstnaností menší než 3% je nejvyšší HDP na obyvatele?

