

Využití časových řad v analýze dat z eye tracking systému

Bc. Jan Procházka

Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci,
17. listopadu 50, 771 46, Olomouc, Česká republika
honzaproch@centrum.cz

Abstrakt. Hlavním cílem práce je pomocí algoritmů pracujících s časovými řadami, vyhledat podobné segmenty v experimentálních datech z eye-tracking systému, svědčící o podobném postupu řešení úkolů respondenty. K tomu účelu byly použity algoritmy Voting Experts a Borcení časovou osou. Jako zvolená implementace těchto algoritmů je použit program vytvořený Ing. Tomášem Kocyanem, který tyto algoritmy vzájemně kombinuje. Jelikož tento program vyžaduje data v jednorozměrném formátu, je v práci představena metodika, která pomocí skriptů v programu MATLAB, dvourozměrná data z eye-tracking systému předzpracovává do požadované podoby a následně provede řezy, které vytvoří požadované segmenty. Tyto segmenty jsou na závěr graficky vizualizovány a vzájemně mezi sebou porovnány.

Klíčová slova: Eye-tracking, voting experts, borcení časovou osou, časové řady.

Abstract. The main aim of the thesis was searching for repeating segments in experimental data which would imply similar ways of solving the problems by different respondents. For this purpose the algorithms working with time series were used, namely the Voting Experts algorithm and the Dynamic Time Warping algorithm. The data was obtained by the eye-tracking method. The program that enabled the implementation of the Voting Experts algorithm as well as the Dynamic Time Warping algorithm was created by Ing. Tomáš Kocyan. Since the program requires the input data to be in 1D format, it was also necessary to create the method that would enable the application of the program over the 2D data obtained from eye-tracking system. For this purpose the scripts were created in the MATLAB, which first convert the data into a suitable form and then make the segmentation of input data. All of such segments were then mutually compared and their similarity henceforth calculated..

Keywords: Eye-tracking, voting experts, dynamic time warping, time series.

1 Úvod

V současnosti existuje mnoho oblastí využití metody eye-tracking, jenž je založena na principu sledování pohybu lidských očí při vnímání obrazu. V této práci je využito dat naměřených touto metodou při již dříve probíhajícím testování na Katedře geoinformatiky UP v Olomouci, které se u respondentů zabývalo rozdílností vnímání mezi 2D a 3D mapami. Hlavním cílem této práce je analýzou využívajících časových

řad, vyhledat podobné segmenty v těchto datech, které by svědčily o podobném přístupu čtení předkládaných map respondenty.

K nalezení těchto segmentů je konkrétně použito algoritmů Voting Experts a Borcení časovou osou. Jako zvolená implementace těchto algoritmů je použit program vytvořený Ing. Tomášem Kocyanem z Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, který tyto algoritmy vzájemně kombinuje. Jelikož tento program vyžaduje data v jednorozměrném formátu, je v práci představena metodika, která pomocí skriptů v programu MATLAB, dvourozměrná data z eye-tracking systému předzpracovává do požadované podoby a následně provede řezy, které vytvoří požadované segmenty.

Tyto segmenty jsou na závěr graficky vizualizovány a vzájemně mezi sebou porovnány.

2 Použité metody

2.1 Eye-tracking

Technologie eye-tracking je poměrně novou moderní metodou, založenou na principu snímání pohybu lidských očí, při vnímání vizuálního vjemu a následném vyhodnocování. Zařízení, které je schopné tyto pohyby sledovat a měřit se nazývá eye-tracker.

Při hledání požadované informace ve zkoumaném prostředí, kterým může být jakýkoliv obrázek, webová stránka nebo mapa, nastávají obvykle dva typy procesů: percepční, při kterém respondent hledaný prvek pouze zahlédne, a kognitivní, při kterém si uvědomí tento nále. Analýza pohybu lidských očí poskytuje kvalitativní (sakády) a kvantitativní (fixace) informace o obou těchto fázích vizuálního vyhledávání.

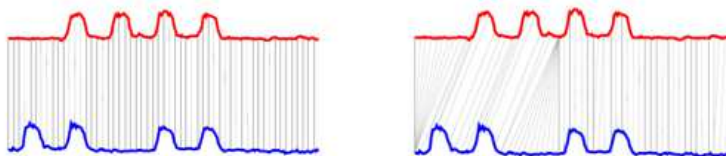
Sakády popisují způsob, jakým respondent obraz zkoumal. Dokážou odhalit oblasti největšího zájmu, rušivé elementy, nebo taktiku uživatele při hledání prvku. Fixace informují o době strávené pozorováním konkrétního jevu a rychlost zjišťování informace.

2.2 Použité algoritmy

Voting Experts algoritmus je doménově nezávislý algoritmus určený pro segmentaci kategoriálních časových řad do smysluplných epizod. Poprvé byl představen dvojicí autorů Cohen a Adams [1]. Jeho základní myšlenka je založena na hypotéze, že typické vzory nalezené v datové kolekci jsou obvykle doprovázeny dvěma statistickými indikátory: nízkou interní entropií uvnitř těchto vzorů a vysokou entropií na jejich okrajích. V základní verzi algoritmu jsou právě tyto indikátory označeny za experty, kteří udělují hlasy lokalitám, ve kterých by mělo dojít k segmentaci.

Dynamic Time Warping, nebo-li Borcení časovou osou je metodou sloužící k nelineárnímu spárování dvou sekvencí tak, aby si co nejvíce odpovídaly [2]. Při porovnání dvou sekvencí podobného tvaru, ale odlišného uspořádání z hlediska časové složky, je použití Euklidovské vzdálenosti pro tento typ signálu nevhodné. Jedná se totiž o lineární transformaci, která porovnává protější dva prvky obou sekvencí, tedy prvky na stejných indexech. Čímž při pouze drobném posunu, který nemusí mít v systému žádný význam, celý výpočet překazí.

Oproti tomu metoda DTW využívá nelineární časové normalizace, u které jsou rozdíly v časové ose modelovány časově nelineární "bortivou" funkcí s předem stanovenými pravidly. Rozdílnost v čase mezi dvěma sekvencemi je tedy eliminována borcením jedné z časových os tak, aby došlo k nejlepší možné shodě s druhou sekvencí.



Obr. 1. Rozdíl mezi užitím Euklidovské vzdálenosti (vlevo) a DTW (vpravo).
(Zdroj: <http://www.izbicki.me/blog>, 2013)

2.3 2.1 Použitá data

Jedním z cílů diplomové práce bylo definovat vhodné úlohy, nad kterými by probíhalo testování pomocí eye-tracking systému. Vzhledem k tomu, že na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci bylo Mgr. Stanislavem Popelkou a Mgr. Alžbětou Brychtovou již dříve řešeno testování založené na rozdílnosti vnímání mezi 2D a 3D mapami, bylo se svolením autorů využito těchto naměřených dat. Testování se zúčastnilo přibližně dvacet respondentů absolvujících minimálně jeden semestr výuky kartografie a dvacet dalších respondentů, kteří neměli žádné kartografické základy. Všem uživatelům bylo zobrazeno několik dvojic 2D a 3D map vždy vedle sebe (v náhodné pozici) a na základě předem položené otázky bylo testováno vnímání těchto map. Testování probíhalo na přístroji SMI RED 250 s vzorkovací frekvencí 120 Hz, kde přesná poloha oka byla snímána každých 8ms.

Bylo rozhodnuto, že jako testovací kolekce bude k účelu této diplomové práce použito tzv. raw dat, nakonec pouze od dvaceti uživatelů (9 kartografů, 11 ne-kartografů), nad jednou dvojicí 2D a 3D map. Takováto vstupní data jsou uložena v textovém souboru (.txt) a nesou mj. informace o souřadnicové poloze pohledu pravého (R POR X [px], R POR Y [px]) i levého oka v daném čase (Time), nebo název předkládaného obrazu (Stimulus). Konkrétně tyto čtyři informace byly využity k dalšímu zpracování dat (Obr. 2).

Time	Type	Trial	L Dia X [px]	L Dia Y [px]	R Dia X [px]	R Dia Y [px]	L POR X [px]	L POR Y [px]	R POR X [px]	R POR Y [px]	Tr Latency	L V	R V	Pug	Stimulus
3630860617	EMP	1	10.86	10.86	11.19	11.19	839.74	542.58	839.74	542.58	0	1582	0	0	1010 - 3d-2d.jpg
3630868839	EMP	1	10.73	10.73	11.17	11.17	842.85	545.43	842.85	545.43	0	1704	0	0	1010 - 3d-2d.jpg
3630877234	EMP	1	10.86	10.86	11.11	11.11	843.43	551.89	843.43	551.89	0	1594	0	0	1010 - 3d-2d.jpg
3630885584	EMP	1	10.86	10.86	11.11	11.11	843.21	552.32	843.21	552.32	0	1566	0	0	1010 - 3d-2d.jpg
3630893846	EMP	1	10.79	10.79	11.12	11.12	844.52	552.65	844.52	552.65	0	1683	0	0	1010 - 3d-2d.jpg
3630902212	EMP	1	10.53	10.53	11.17	11.17	846.03	554.85	846.03	554.85	0	1607	0	0	1010 - 3d-2d.jpg
3630910597	EMP	1	10.58	10.58	11.9	11.9	845.58	559.64	845.58	559.64	0	1608	0	0	1010 - 3d-2d.jpg
3630918911	EMP	1	10.61	10.61	11.8	11.8	846.78	559.55	846.78	559.55	0	1871	0	0	1010 - 3d-2d.jpg
3630927293	EMP	1	10.71	10.71	11.9	11.9	846.96	564.26	846.96	564.26	0	1965	0	0	1010 - 3d-2d.jpg

Obr. 2. Ukázka dat z eye-tracking systému s vyznačením používaných atributů.

2.4 Použité programy

Nejdůležitější část práce, tedy tvorba skriptů, kde první předzpracovával vstupní data, druhý vytvářel videozáznam uživatelského pohybu očí nad daným obrazem a poslední pomocí stanovených prahových hodnot rozsekával výstupní data z programu VE Console na jednotlivé segmenty, které graficky vizualizoval, byly vytvořeny v programu MATLAB R2010b.

Jako zvolená implementace Voting Experts algoritmu byl použit program VE Console, vytvořený studentem doktorského studia na Vysoké škole báňské - Technické univerzitě Ostrava, Ing. Tomášem Kocyanem. Jedná se o program, jenž využívá Voting Experts algoritmus obohacený o oboustranný průchod a tzv. DTW post-proces. Zatímco všechny funkce jsou volány pouze jako knihovny, nastavení jednotlivých parametrů je uloženo přímo ve vytvořené aplikaci. Kvůli jejich změně bylo zapotřebí upravit spouštěcí program, k čemuž bylo využito Microsoft Visual Studio 2010.

Pro tvorbu vektorových obrazců, na kterých bylo testováno nastavení parametrů předešlého programu, byl využit editor vektorové grafiky Inkscape a pro výsledné vykreslení segmentů bylo použito sázečského systému LaTeX.

3 Postup zpracování

Po seznámení se s problematikou eye-tracking systému a nastudováním principu fungování algoritmů pracujících s časovými řadami, především pak Voting Experts a DTW (*Dynamic Time Warping*, *Borcení časové osy*) algoritmu, včetně jejich nejrozličnějších modifikací, bylo potřeba definovat vhodné úlohy, nad kterými by bylo prováděno testování eye-tracking systémem. Jak již bylo zmíněno v předcházející kapitole, pro účely této práce bylo rozhodnuto využít data z již dříve probíhajícího testování.

Pro potřeby pozdější práce bylo však nutné tyto experimentální data předzpracovat a upravit je do potřebné podoby. V programu MATLAB byl tedy vytvořen skript, který

nejprve načte potřebné hodnoty z dat neměřených metodou eye-tracking pro libovolně zvoleného uživatele nad vybraným stimulem (zkoumaným obrazem).

Vzhledem k tomu, že data obsahují přesný záznam toho, kam všude se uživatel díval, jedná se o velmi složitou a často nepřehlednou křivku. Aby bylo možné následně porovnávat jednotlivé segmenty této křivky, bylo třeba záznam zjednodušit. K tomuto účelu byla použita dolní propust (*Low-pass filter*). Skript následně pro představu vykreslil graf a obrázek jak data vypadala před a po použití filtru.

Další součástí skriptu bylo rozdělení vstupních dat na fixace a sakády. Toho bylo docíleno metodou, kdy na základě výpočtu hodnot délek mezi dvěma sousedními body křivky, byla rovněž vypočtena průměrná hodnota těchto délek a ta byla definována jako prahová hodnota. Potom všechny body křivky nad touto hodnotou byly označeny za sakády a body křivky pod prahovou hodnotou za fixace.

Aby bylo i lépe graficky názorné, jak uživatel vnímal předloženou mapu, bylo použito jedné z klasických vizualizačních metod nad daty eye-tracking systému - HeatMap. HeatMapa byla vypočtena konvolucí s Gaussovou funkcí.

Jelikož bylo rozhodnuto, že hledání podobných segmentů bude následně prováděno pouze nad sakádama, poněvadž v místech fixací by nalezené segmenty příliš nevyovídaly o komplexním principu čtení mapy, byly rovněž vykresleny tyto sakády nad danou mapou.

Poslední součástí skriptu bylo vypočítání polárních souřadnic a euklidovské vzdálenosti dvou sousedních bodů, každému bodu definujícímu polohu sakád (důvod bude uveden níže). Tyto hodnoty byly společně s X a Y souřadnicemi bodů zapsány do samostatných textových souborů.

Pro názornou ukázkou toho, kam všude a jak dlouho se uživatel na předkládanou mapu díval byl vytvořen další skript, který generuje videozáznam s těmito informacemi. Zde bylo použito obdobné metodiky jako při vykreslování HeatMap.

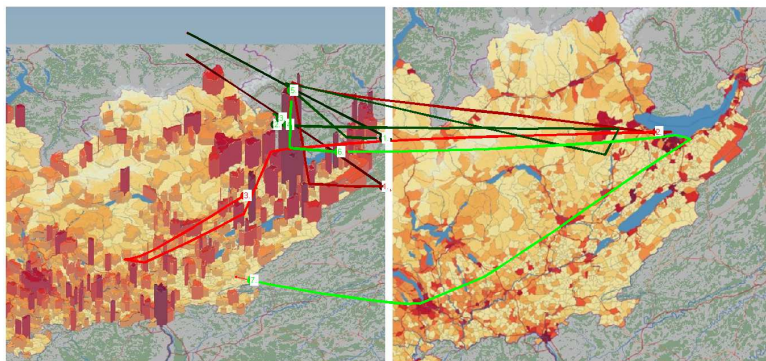
Pro implementaci Voting Experts algoritmu byl použit program VE Console, představený v předešlé kapitole. Aby v něm bylo docíleno optimální nastavení parametrů, byly v grafickém vektorovém editoru Inkscape vytvořeny vzorové obrázky, na kterých bylo nastavení těchto parametrů testováno.

Jelikož zmíněný program je primárně vytvořen pro vstup dat v jedno-číselném, případně textovém formátu bylo potřeba vymyslet, jak do něj nahrát data ve dvou-číselném zápise (poloha oka X a Y). Prvotním pokusem bylo využít Mortonova rozkladu (*Z-order*), což se ovšem nakonec ukázalo jako ne příliš vhodná varianta. Proto bylo vytvořeno pět dříve zmíněných textových souborů - *poloha X*, *poloha Y*, *poloha φ* , *poloha r* a *euklidovská vzdálenost mezi sousedními body*. Tyto soubory následně vstupovaly do programu samostatně a výstupem bylo opět pět souborů, kde každý obsahoval počty hlasů od hlasujících expertů.

Pro konečné rozhodnutí, kde budou sakády rozděleny na kratší segmenty byl vytvořen třetí skript. Ten sečetl hlasy ze všech pěti textových souborů a na základě zadané prahové hodnoty provedl řezy nad křivkou. Výsledné segmenty graficky vizualizoval (Obr. 3) a uložil do textového souboru.

Aby bylo možné výsledné segmenty mezi sebou vzájemně porovnat, byla vymyšlena metodika, kdy se nad každým segmentem vypočítalo těžiště a se středem v tomto těžišti se vytvořil šestnácti-dílný prostor. Následně bylo vypočteno kolik bodů daného segmentu spadá do každého dílu takto vzniklého prostoru, čímž byly vytvořeny tzv. histogramy četností bodů, příslušných k danému rozdělení prostoru.

Na závěr byly dle těchto hodnot histogramů určeny podobnosti jednotlivých segmentů.

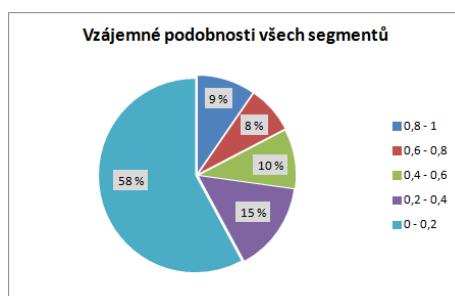


Obr. 3. Vizuální porovnání vytvořených segmentů pro dva respondenty navzájem.

4 Výsledky

Využitím výše představené metodiky, která porovnávala všech 320 segmentů vzájemně mezi sebou, pomocí histogramů četností bodů, příslušných k danému rozdělení prostoru, bylo získáno konečných 79 806 hodnot. Jelikož byl porovnáván každý segment s každým, dochází zde však ke zdvojení každé hodnoty, kdy segment č. 1 je porovnán se segmentem č. 2 a rovněž segment č. 2 je porovnán se segmentem č. 1. Vzhledem k tomuto je tedy možno konečný počet porovnání zredukovat na 39 903. Ovšem i takto vysoký počet dosažených výsledků je velmi těžko interpretovatelný.

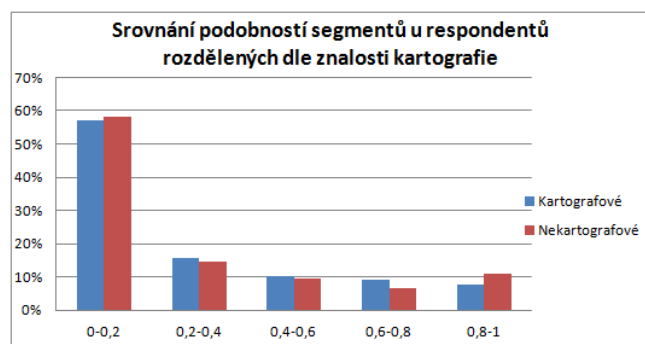
Jedním z výstupů porovnávaných hodnot je PDF soubor s přehledem všech podobností z něhož je sestaven následující graf, který vypovídá o vzájemné podobnosti mezi všemi segmenty. Jelikož výsledky podobnosti nabývají hodnot od 0 do 1, kde 1 znamená absolutní shodu, lze z grafu snadno vyčíst míru podobností (Obr. 4).



Obr. 4. Graf vzájemných podobností všech segmentů.

Z tohoto grafu je patrné, že pouze 9 % všech segmentů nabývá nejvyšších hodnot podobnosti, avšak za velmi podobné lze považovat i následujících 8 % segmentů, které odpovídají 0,6 až 0,8 míře podobnosti. Oproti tomu, více než 50 % segmentů nedosahuje ani míry podobnosti 0,2 z čehož lze vyvodit, že v porovnávaných datech se příliš podobností nevyskytuje. Tyto údaje ovšem není možno brát za zcela objektivní, jelikož zde není brána v potaz například prostorová poloha, nebo délka křivek, čímž může být srovnáván velmi krátký segment definovaný pouze dvěma body se segmentem o mnoho větší délce. V konečném důsledku tak krátký segment příliš nevypovídá o charakteristickém přístupu čtení podkladové mapy, stejně jako segment delší. Avšak ve zmíněném porovnávání je mu přiřazena stejná váha. Do grafu nebyly naopak započteny všechny první segmenty, jelikož se jedná o křivky vytvořené dolní propustí při úpravě dat. Jedná se vždy o rovnou křivku, která byla ve velké většině případů identifikována jako první segment každého uživatele. Tyto segmenty jsou tedy zcela logicky vyhodnoceny jako naprosto identické a proto nebyly zahrnuty do výpočtu.

Jelikož použitá vstupní data obsahovaly informace o tom, zda respondent absolvoval alespoň jeden semestr kartografie, či nikoliv, byla vypočtena podobnost nalezených segmentů i pro tyto dvě skupiny odděleně a následně vynesena do grafu (Obr. 5).

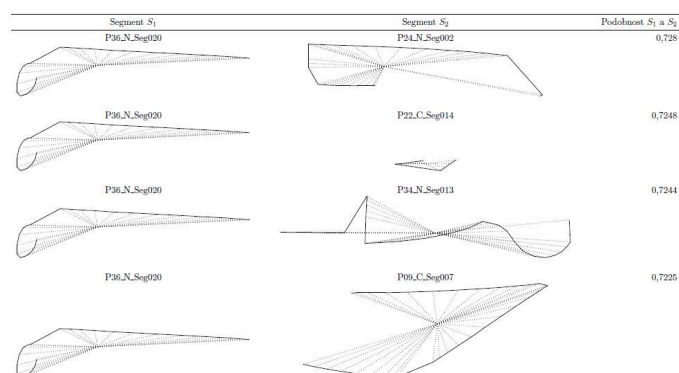


Obr. 5. Srovnání podobností segmentů dle znalostí kartografie

Z takto zobrazených dat je možno vyčíst, že neexistuje žádný větší rozdíl v podobnosti čtení předkládané mapy mezi kartografy a nekartografy. Pro zcela objektivní srovnání je ovšem nutno připomenout, že obě skupiny nejsou zastoupeny přesným počtem respondentů. Bylo porovnáváno jedenáct nekartografů s devíti kartografy.

U této konkrétní úlohy, kdy byla respondentům současně v rámci jednoho obrázku zobrazena 2D a 3D mapa a položen úkol, aby označili místo s největším výskytem čerpacích stanic, lze konstatovat, že v použitých experimentálních datech nebylo nalezeno příliš mnoho podobných segmentů, které by svědčily o podobném postupu řešení úlohy respondenty. A zároveň neexistuje žádný větší rozdíl při čtení mapy v závislosti na tom, zda respondent měl, nebo neměl alespoň základní kartografické vzdělání.

Více vypovídajícím výstupem o porovnání podobností všech jednotlivých segmentů navzájem je druhý vytvořený PDF dokument, který graficky porovnává vždy dva segmenty vedle sebe, včetně vypsání jejich hodnoty podobnosti. Uveden je vždy první segment daného uživatele a k němu jsou postupně zobrazeny všechny ostatní segmenty, seřazené sestupně od nejpodobnějšího k tomu nejméně podobnému. Následuje druhý segment daného uživatele se všemi ostatními segmenty seřazenými dle podobnosti atd. Jak již ovšem z principu věci vyplývá, tento přehled grafických vizualizací je vzhledem ke své obsáhlosti značně nepřehledný. PDF soubor obsahuje 12 681 stran. Zde je pro názornost uvedeno několik porovnání:



Obr. 6. Část porovnání segmentu P36_N_Seg020 s ostatními segmenty.

Vzhledem k tomu, že primárním cílem práce nebylo charakterizovat, nebo kategorizovat jednotlivé uživatele mezi sebou, dle vypočtených podobností segmentů, ale především implementovat algoritmy pracující s časovými řadami na data z eye-tracking systému a následně s jejich pomocí vyhledat segmenty svědčící o podobném postupu řešení úkolů respondenty, bylo rozhodnuto, že výše uvedená forma výstupů bude pro účely této práce zcela dostačující.

Z dosažených výsledků lze konstatovat, že s využitím kombinace algoritmů Voting Experts a Borcení časovou osou, je možno v datech naměřených eye-tracking systémem nalézt do jisté míry podobné opakující se segmenty, které mohou vypovídat o podobném přístupu uživatelů při čtení předkládaných map. V experimentálních datech pro tuto magisterskou práci bylo u testované úlohy nalezeno přibližně 17% velmi podobných segmentů.

Za výsledky této práce lze rovněž považovat vytvořené skripty v programu MATLAB, které jsou napsány a vhodně okomentovány tak, aby byly snadno využitelné pro jakákoliv Raw data z eye-tracking systému. Vzhledem k tomu, že program VE Console, jenž je součástí představené metodiky segmentace dat, byl využit pouze pro účely této práce a není nikterak veřejně poskytnut, lze skripty kromě segmentace využít minimálně pro úpravu a rozdělení vstupních dat na fixace a skákdy, tvorbu HeatMap a vygenerování videozáznamu.

5 Závěr

Hlavním cílem této magisterské práce bylo vyhledat pomocí algoritmů pracujících s časovými řadami podobné segmenty v experimentálních datech, pořízených metodou eye-tracking, které by svědčily o podobném postupu řešení úkolů respondenty. Práce je rozdělena do dvou základních částí, kdy v té první je představena metoda eye-tracking, která snímá pohyb lidských očí při vnímání vizuálního vjemu a algoritmy Voting Experts a Borcení časovou osou, které byly využity pro nalezení podobných segmentů. Druhá, hlavní část práce se věnuje praktickému řešení této problematiky.

Jedním z dílčích cílů diplomové práce bylo definovat vhodné úlohy, nad kterými by probíhalo testování pomocí eye-tracking systému. Jelikož již dříve na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci probíhalo testování zkoumající rozdílnost vnímání mezi 2D a 3D mapami, bylo rozhodnuto pro práci využít části těchto naměřených dat.

Jako zvolená implementace algoritmů Voting Experts a Borcení časovou osou byl použit program VE Console, vytvořený Ing. Tomášem Kocyanem. Vzhledem k tomu, že tento program vyžaduje vstupní data v jednorozměrném formátu, bylo potřeba vymyslet metodiku, která by umožnila aplikaci programu i nad dvojrozměrnými daty z eye-tracking systému. K tomuto byly vytvořeny v programu MATLAB skripty, které data předzpracují do požadované podoby a následně provedou segmentaci vstupních dat na smysluplné epizody.

Všechny takto vytvořené segmenty byly mezi sebou navzájem porovnány a byla vypočtena jejich vzájemná podobnost. V datech použitých pro tuto práci bylo vytvořenou metodikou nalezeno přibližně 17 % velmi podobných segmentů. Přičemž bylo také zjištěno, že neexistuje žádný větší rozdíl při čtení mapy mezi respondenty, kteří absolvovali alespoň jeden semestr kartografie a ostatními respondenty.

Reference

1. Cohen, P. R., Adams, N., Heeringa, B.: Voting Experts: An Unsupervised Algorithm for Segmenting Sequences., *To appear in Journal of Intelligent Data Analysis*. 2007.
2. MÜLLER, Meinard. Dynamic Time Warping. *Information Retrieval for Music and Motion*. Berlin, 2007.